



SUUNNITTELUMENETELMIEN ARVIOINTI

Putkisto- ja teräsrakennesuunnittelussa
teollisuuden uusintaprojekteissa

Juuso Pennanen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2015
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

PENNANEN, JUUSO:

Suunnittelumenetelmien arviointi

Putkisto- ja teräsrakennesuunnittelussa teollisuuden uusintaprojekteissa

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Marraskuu 2015

Putkisto- ja teräsrakennesuunnitteluprojekteissa käytetään nykyisin lähes poikkeuksetta 3D-suunnittelumenetelmää. Tämän työn toimeksiantajan, Pöyry Finland Oy:n Jämsän toimipisteen lähipalvelusuunnittelussa 2D-ohjelmilla on kuitenkin yhä merkittävä rooli johtuen asiakkailta olemassa olevasta 2D-dokumentaatiosta ja sen hoidon tarpeesta. Tilanteessa on herännyt kysymys, olisiko 3D-suunnittelu myös näissä pienemmissä projekteissa tehokkaampaa ja pitäisikö näin ollen harkita sen käytön lisäämistä. Työn tarkoituksena on kerätä kokemuksia 2D- ja 3D-suunnitteluohjelmien käytöstä ja kehittää vertailumenetelmä niiden tehokkuudelle. Tavoitteena on tuoda esiin keinoja, joiden avulla voidaan valita kuhunkin tehtävään sopiva suunnitteluohjelma. Työssä keskitytään Pöyryllä eniten käytettyihin ohjelmiin, jotka ovat Autodesk AutoCAD ja Aveva PDMS.

Työssä kerättyjen kokemusten perusteella laskettiin suunnittelun tehokkuus viidelle eri projektille. Käytettävissä olleista projekteista yksi on suunniteltu 2D- ja loput 3D-menetelmällä. Vertailtavien projektien pienestä määrästä huolimatta, ovat tulokset järkeenkäypiä, ja voidaan olettaa vertailussa käytetty laskentatapa käyttökelpoiseksi. Tehokkuusvertailua voitaisiin jatkossa soveltaa suurempaan määrään projekteja, jolloin tuloksista voitaisiin päätellä, kumpi suunnitteluohjelma on ollut tarkastellun suuruusluokan projekteissa parempi.

Suunnittelumenetelmän valintaan liittyen nostettiin esiin neljä selkeimmin vaikuttavaa asiaa, jotka ovat lähtötietojen laatu, isometrien tarve, suunnittelun suuruusluokka ja toimintatavat. Jotta nämä aihealueet ja niiden vaikutus olisi helppo hahmottaa, päätettiin ne esittää graafisessa muodossa. Tuloksena on suunnittelumenetelmän valintakuva, jota voidaan käyttää apuvälineenä mietittäessä projektiin parhaiten sopivaa menetelmää.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Product Development

PENNANEN, JUUSO:
Assessing a Design Method
Pipe And Steel Structure Planning in Projects

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 4 pages
November 2015

When designing process piping and structural steelwork, 3D engineering is currently the most common method. When doing local services, as in the Jämsä office of the Pöyry Finland Oy, 2D software is still widely utilized. It has been proposed that 3D engineering might be more efficient in these smaller projects also, and that it should therefore be used more often. The purpose of the work was to gather information on the use of 2D and 3D engineering software and develop a method to compare their effectiveness. The objective was to bring out the means which can be used to choose a designing program suitable to each task. The focus was on the most used programs at Pöyry. These programs are Autodesk AutoCAD and Aveva PDMS.

The effectiveness of engineering was calculated in five different projects. One of the projects was designed with the 2D method and the rest with the 3D method. In spite of the small number of the projects to be compared it seems that the results are reasonable. That is because the results follow differences that have been perceived in the designing of these projects. Therefore it can be assumed that the calculation method used in the comparison could be useful. The effectiveness comparison could be adapted to a larger number of projects in the future in which case a conclusion concerning which planning program was better in the project could be drawn.

Four factors were selected as affecting the choice of planning method the most. These factors are quality of the source information, a need for isometric pipe drawings, the size of the project and the work methods. The factors were illustrated in a picture, the purpose of which is to clarify their significance. The picture can be used as an instrument when making a decision on which program to use.

Key words: industry, design, process pipe systems, engineering software

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PÖYRY	7
2.1	Historiaa	7
2.2	Pöyry-konserni	8
2.2.1	Liiketoimintaryhmät	9
2.3	Pöyry Finland Oy	10
2.3.1	Paikallispalvelut	10
2.4	Pöyry Jämsässä	11
2.4.1	Asiakkaat	11
3	SUUNNITTELUPROSESSI	12
3.1	Suunnittelutehtävien luonne	12
3.2	Prosessisuunnittelu	12
3.3	Lujuuslaskenta	13
3.3.1	Putkiston lujuuslaskenta	14
3.3.2	Kannakkeiden lujuuslaskenta	14
3.3.3	Teräsrakenteiden lujuuslaskenta	15
3.4	Suunnittelun haasteet	15
4	2D-SUUNNITTELU	17
4.1	Putkistosuunnittelu	17
4.1.1	Putkistosuunnittelun lähtötiedot	17
4.1.2	Kenttämittaukset	18
4.1.3	Kannakesuunnittelu	18
4.2	Teräsrakennesuunnittelu	19
5	3D-SUUNNITTELU	20
5.1	Putkistosuunnittelu	20
5.1.1	Putkistosuunnittelun lähtötiedot	21
5.1.2	Kenttämittaukset	21
5.1.3	Mallinnus kenttämittausten avulla	22
5.1.4	Mallinnus laserkeilauksen avulla	23
5.1.5	Putkistospesifikaatiot	24
5.1.6	Kannakesuunnittelu	24
5.2	Teräsrakennesuunnittelu	25
6	DOKUMENTOINTI	26
6.1	Tarjouskyselyaineisto	26
6.1.1	Suunnittelumenetelmien erot tarjouskyselyvaiheessa	27
6.2	Materiaaliluettelot	28

6.3	Taso- ja leikkauskuvat.....	28
6.4	Kannakekuvat	28
6.5	Putkistoisometrit	29
7	SUUNNITTELUOHJELMIEN VERTAILU	30
7.1	Vertailun tavoite.....	30
7.2	Vertailtavat ohjelmat	30
7.2.1	AutoCAD ja CADMill	30
7.2.2	AVEVA PDMS	31
7.3	Vertailuprojektit	32
7.3.1	Projekti 1	33
7.3.2	Projekti 2	33
7.3.3	Projekti 3	34
7.3.4	Projekti 4	34
7.3.5	Projekti 5	34
7.4	Tehokkuusvertailu.....	35
7.4.1	Putkiston määrittely	35
7.4.2	Teoreettinen suunnittelu-aika	36
7.4.3	Todellinen suunnittelu-aika	37
7.4.4	Suhteellinen tehokkuus	38
7.4.5	Virhetarkastelu	39
7.4.6	Tehokkuuksien tarkastelu.....	40
7.5	Käyttökustannusten vertailu	41
7.5.1	Lisenssikustannukset	42
8	SUUNNITTELUOHJELMAN VALINTA	43
8.1	Lähtötiedot.....	44
8.2	Isometrien tarve	44
8.3	Suunnittelun suuruusluokka	45
8.4	Toimintatavat	45
8.5	3D-mallin lisäarvo.....	46
8.6	Pitkän aikavälin valintapolitiikka	47
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	49
	LÄHTEET.....	50
	LIITTEET.....	51
	Liite 1. Otos kahdesta eri laatuudesta laserkeilatusta 3D-mallista	51
	Liite 2. Putki-isometri. (Pöyry Finland Oy.).....	52
	Liite 3. Eri laskentatapoja teoreettiselle suunnitteluajalle	53
	Liite 4. Suunnittelumenetelmän valintakuva	54

1 JOHDANTO

Kolmiulotteiseen malliin perustuvat suunnitteluohjelmat ovat yleistyneet putkistosuunnittelussa 90-luvun puolivälistä lähtien ja niiden käyttö on aloitettu Pöyryn Jämsän toimipisteessä vuosituhannen alussa. Etenkin suurissa tehdassuunnitteluprojekteissa 3D-menetelmän jalansija on ollut vahva jo vuosikymmenen ajan (keskustelu Arto Heinänen). Kuitenkin Jämsän suunnittelutoimistossa on 2D-suunnittelu edelleen vahvassa asemassa, johtuen lähipalvelusuunnittelusta, olemassa olevien kuvien päivitystarpeesta, 2D-lähtötiedoista, projektien pienehköstä suuruusluokasta ja asiakkaiden keventyneestä dokumentaation tarpeesta (keskustelu Heikki Peltonen). Koska 3D-suunnitteluohjelmien käyttö on suunnittelurintamalla vallitseva ja nykyaikainen tapa, herää kysymys, miksi 2D-suunnittelu silti vaikuttaa tehokkaalta ja olisiko järkevää laajentaa 3D-suunnittelun käyttöä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on koota yhteen kokemuksia putkisto- ja teräsraekennesuunnittelutehtävissä käytetyistä suunnittelumenetelmistä ja -ohjelmista. Työn toimeksiantaja on Pöyry Finland Oy, jonka palveluksessa kyseisiin suunnittelumenetelmiin on voinut tutustua meneillään olleiden projektien puitteissa. Kerätyt tiedot ja kokemukset kootaan yhteen ja arvioidaan niiden perusteella suunnitteluohjelmien valintaan ja käyttöön liittyviä asioita. Lisäksi tarkoituksena on vertailla suunnittelumenetelmien kustannuksia.

Työn tavoitteena on kehittää arviointimenetelmä suunnittelutyökalun valintaan yksittäisissä projekteissa ja toisaalta myös kaikessa toimiston tekemässä putkistosuunnittelussa. Erityisesti työssä halutaan löytää niitä asioita, jotka ovat merkityksellisiä suunnittelumenetelmän valinnassa, jotta osattaisiin valita kuhunkin suunnittelutehtävään parhaiten sopiva työväline. Lisäksi tavoitteena on kehittää menetelmä, jolla jo tehtyjen projektien tehokkuutta voitaisiin arvioida suunnittelumenetelmän näkökulmasta.

Työssä keskitytään pieniin teollisuuden uusintaprojekteihin, joissa tehokkaimman suunnittelumenetelmän arviointi vaikuttaa olevan hankalinta. Arvioitaviksi suunnitteluohjelmiksi on valittu kaksi Pöyryn Jämsän toimipisteellä käytetyintä ohjelmaa, jotka ovat AutoCAD ja AVEVA PDMS.

2 PÖYRY

2.1 Historiaa

Jaakko Pöyryn ensimmäinen hanke vuonna 1958 oli Äänekoskelle rakennettavan sulfaattisellutehtaan suunnittelu (Pöyry Oyj 2015). Aihe on jälleen ajankohtainen, kun nyt, 57 vuotta myöhemmin, Äänekoskelle suunnitellaan jälleen uutta sellutehdasta. Sellun käyttökohteet ovat tosin muuttuneet paljon siitä, kun tohtori Jaakko Pöyry (kuva 1) kollegoineen päätti hyväksyä työtarjouksen silloisesta suunnitteluhankkeesta.

Pöyryn hyvin menestyneelle suunnittelutyölle seurasi jatkoa Ruotsissa, minkä johdosta vuonna 1962 perustettiin jo ensimmäinen Suomen ulkopuolinen toimipiste Tukholmaan. Yrityksen kasvu ja kansainvälistyminen jatkui 70- ja 80-luvuilla, jolloin perustettiin tytäryhtiöt Yhdysvaltoihin, Kaakkois-Aasiaan ja Australiaan. 90-luvun alussa konserni päätti laajentaa toimintojaan metsäteollisuudesta energia- infrastruktuuri- ja ympäristöaloille. Vuonna 1997 Pöyry listautui Helsingin pörssiin. (Pöyry Oyj 2015.)



KUVA 1. Jaakko Pöyry (Pöyry Oyj 2015)

2.2 Pöyry-konserni

Tämän päivän Pöyry on kansainvälinen konsultointi- ja suunnitteluuyhtiö, jonka palveluksessa on asiantuntijoita 50 maassa (Pöyry Oyj 2015). Konsernin henkilöstömäärä oli vuoden 2014 tilikauden aikana keskimäärin noin 5500, joista noin 1900 työntekijää työskenteli pohjoismaissa. (Tilinpäätös 2014, 10) Konsernin toimialat voidaan kiteyttää kolmeen sektoriin, jotka ovat energia, teollisuus ja infrastruktuuri (Pöyry Oyj 2015). Kuvassa 2 on esitetty tiiviisti konsernin tarjoamat palvelut sekä toimialat.



KUVA 2. Pöyry konsernin liiketoimintasektorit (Pöyry Oyj 2015)

Energiasektorilla Pöyryn konsultointi- ja suunnitteluosaamiseen kuuluvat kaikki merkittävät sähköntuotantomuodot mukaan lukien uusiutuvat energiamuodot. Palveluita tarjotaan sähköntuotannon lisäksi myös sähkön siirron ja jakelun suunnittelussa. Erilaisten sähköntuotantomuotojen ohella lämpövoimalaitosten ja erityisesti yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon suunnittelu ja toteutus on merkittävä osa energiasektorin liiketoimintaa. (Pöyry Oyj 2013.)

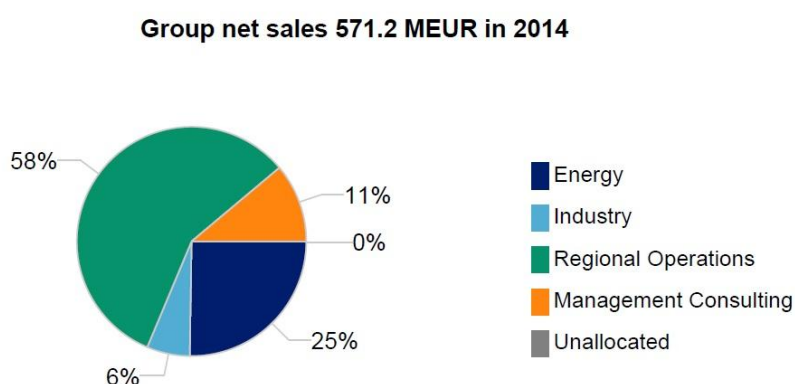
Teollisuussektorilla Pöyry on keskittynyt tarjoamaan konsultointi- ja suunnittelupalveluita metsäteollisuudessa, metalli- ja kaivosteollisuudessa sekä kemianteollisuudessa. Yrityksen alkuaajoista juontuva pitkä kokemus metsäteollisuudesta ulottuu aivan viimeisiin teknologioihin sellu-, paperi- ja pehmopaperiteollisuudessa. Kaivostoimintaan tarjotaan kokonaisvaltaisia palveluita etsintätoiminnoista jatkotuotannon valmisteisiin. Kemianteollisuuden palvelut puolestaan kattavat öljynjalostuksen ja petrokemian, perus- ja hienokemian sekä biojalostuksen ohella myös muun muassa entsyymejä ja käy-

misprosesseja hyödyntävän prosessiteollisuuden. Lisäksi tarjotaan teollisuuden rakennussuunnittelu- ja rakennuttamispalveluita. (Pöyry Oyj 2013.)

Infrastruktuurisektorilla Pöyryn tarjoamat palvelut voidaan jakaa kolmeen pääkohtaan, jotka ovat väyläinfra, vesi ja ympäristö sekä kiinteistöt ja rakentaminen. Pöyryn osaaminen liikenneinfrastruktuurissa kattaa erilaiset liikenneväylät, satamat, lentokentät, terminaalit ja maanalaiset rakenteet. Vesi ja ympäristöalan palveluihin kuuluvat luonnonvarojen ja maastotutkimusten lisäksi vesi- ja jätehuollon suunnittelu sekä ympäristökonsultointi. Pöyry tarjoaa myös kiinteistöjen suunnittelupalveluita erilaisista liiketoista aina julkisiin kiinteistöihin. (Pöyry Oyj 2013.)

2.2.1 Liiketoimintaryhmät

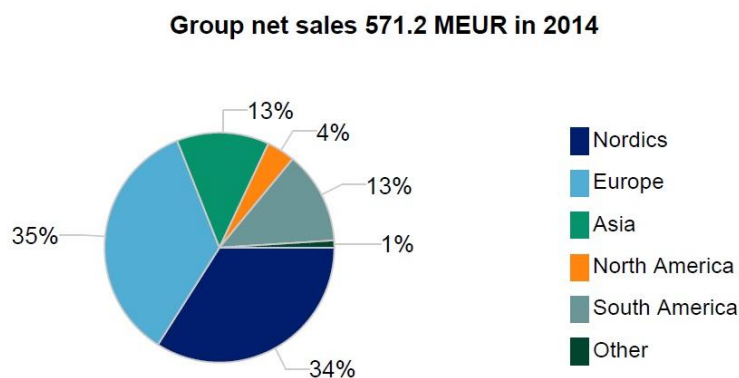
Konsernin toimialat on jaettu hallinnollisesti neljään liiketoimintaryhmään, jotka ovat energia, teollisuus, alueelliset toiminnot ja liikkeenjohdon konsultointi. Liiketoimintaryhmistä suurin on alueelliset toiminnot, jonka osuus vuoden 2014 liikevaihdosta oli 57 % ja henkilöstömäärä tilikauden lopussa reilut 3000 työntekijää, mikä on yli puolet koko konsernin henkilöstömäärästä. Toiseksi suurin on Energia, joka muodosti 25 % liikevaihdosta vuonna 2014. Energia-liiketoimintaryhmän alla työskentelee reilut 1000 työntekijää. Teollisuus ja Liikkeenjohdon konsultointi -ryhmissä työskentelee noin 400 työntekijää kummassakin. Teollisuuden osuus liikevaihdosta vuonna 2014 oli 6 % ja liikkeenjohdon konsultoinnin 11 %. Osuudet on esitetty sektorikaaviomuodossa kuviossa 1. (Tilinpäätös 2014, 8-10.)



KUVIO 1. Liiketoimintaryhmien osuudet liikevaihdosta (Fact sheet, Pöyry Oyj 2015)

2.3 Pöyry Finland Oy

Pohjoismaiden ja Euroopan osuus Pöyryn liikevaihdosta on edelleen merkittävä. Kuvio 2 nähdään, että koko Euroopan toimintojen osuus liikevaihdosta on melkein 70 %, josta Pohjoismaiden osuus on noin puolet ja samalla kolmasosa koko konsernin liikevaihdosta. Konsernin tytäryhtiö Pöyry Finland Oy:llä onkin Suomessa noin 1600 työntekijää ja toimipisteitä 18 paikkakunnalla. (Pöyry Oyj 2013.)



KUVIO 2. Liiketoiminta-alueiden osuudet liikevaihdosta (Fact sheet, Pöyry Oyj 2015)

2.3.1 Paikallispalvelut

Alueellisten toimintojen osuus on Pöyryn liiketoimintaryhmistä suurin, sen liikevaihdon ja henkilöstömäärän ollessa lähes 60 % koko konsernin liikevaihdosta ja henkilöstöstä (Tilinpäätös 2014, 8).

Pohjoismaissa ja Suomessa Pöyry onkin aikanaan luonut vahvan perustan teollisuuden paikallispalveluissa ja toiminnan tehostamiseen tähtäävässä suunnittelussa. Pöyryn paikalliskonttoriverkosto on koko maan kattava ja sen kautta pystytään tukemaan asiakkaita heidän päivittäisissä toiminnoissaan tarjoamalla konkreettisia ratkaisuja ja palveluja. (Pöyry Oyj 2013.)

Paikallispalveluiden ideana on olla asiakkaan kumppanina päivittäisissä tuotantolaitoksen käyttöön ja tehokkuuden parantamiseen liittyvissä tehtävissä. Toimistoverkoston avulla pystytään tarjoamaan joustavaa suunnittelutukea ja tarvittaessa paikallistoimis-

toilla on takanaan koko konsernin asiantuntijaverkoston tuki. Paikallistoimisto ottaa vastuun teknisen dokumentaation saatavuudesta ja ylläpidosta, seuraa asiakkaan puolesta lainsäädäntöä ja huolehtii pieninvestoinneista. Toimisto voi ottaa vastuulle myös muita asiakkaan kanssa sovittuja toimintoja. (Pöyry Oyj 2013.)

2.4 Pöyry Jämsässä

Jämsän toimisto toimii osana teollisuuden paikallispalveluita. Työntekijöitä Jämsän toimipisteessä on yhteensä 23. Toimiston henkilöstöstä neljä työskentelee projektien hoidossa, yksi prosessisuunnittelussa ja kaksi työmaavalvonnassa. Mekaanista suunnittelua tekee kuusi työntekijää ja sähkö- ja automaatio suunnittelua 10 työntekijää.

2.4.1 Asiakkaat

Jämsän toimisto sijaitsee alueella, jossa metsä- ja paperiteollisuudella on pitkät perinteet. Nykyään toimistoa työllistävät tältä alalta Jämsässä ja Jämsänkoscilla sijaitsevat UPM Jokilaakson paperitehtaat sekä Metsä Tissue Mäntän tehdas. Lisäksi toimiston palveluita käyttävät muun muassa DuPont Jämsänkosken tehdas ja muut lähialueen asiakkaat. Lisäksi Pöyryn toimistoverkon kautta tehdään suunnittelua myös muualle Suomeen sekä ulkomaille. (Lohko 2014.)

3 SUUNNITTELUPROSESSI

3.1 Suunnittelutehtävien luonne

Pöyry Finland Oy:n Jämsän toimipisteen työtehtävät koostuvat mekaanisen suunnittelun osalta pääosin olemassa olevien tuotantolaitosten uusintaprojekteista. Projektien suunnitteluvaiheen suuruus on tyypillisesti 100 - 300 tuntia, mutta myös lyhempiä, muutamien kymmenien tuntien työtilauksia esiintyy. Mekaanisen suunnittelun tyypillisimpiä kohteita ovat putkistot ja teräsrakenteet. (Lohko 2014.)

Putkistosuunnittelutehtävät liittyvät yleensä tuotantolaitosten prosessitehokkuutta parantaviin hankkeisiin, joissa prosessilaitteita vaihdetaan uusiin tai olemassa olevien määrää lisätään, jolloin tulee tarve muuttaa olemassa olevaa putkistoa uusille laitteille sopivaksi tai tehdä niitä varten kokonaan uusia putkistoja. Teräsrakennesuunnittelu koskee useimmiten uusien prosessilaitteiden tukirakenteita sekä niiden käyttämiseen ja huoltoon tarvittavia työskentelytasoja ja nostoapuvälineitä. Työskentelytasojen ja nostoapuvälineiden suunnittelutarvetta lisää jonkin verran myös lisääntynyt panostus turvallisuuteen, jolloin olemassa oleville prosessilaitteille halutaan turvallisemmat käyttö- tai huolto-olosuhteet.

3.2 Prosessisuunnittelu

Putkistosuunnittelun ensimmäinen vaihe on prosessisuunnittelu, jonka tulos määrittelee olennaisimmat putkiston ominaisuudet, joita ovat putkikoko ja -reitti, paineluokka ja materiaali. Useat Jämsän toimiston asiakkaat tekevät prosessisuunnittelun itse, tai sen tekee eri henkilö, kuin varsinaisen putkistosuunnittelun. Prosessisuunnittelu on erittäin olennainen osa putkistosuunnittelua, mutta sen luonne on mekaanisen suunnittelijan työssä toimia lähtötietona, eikä sillä näin ollen ole suurta vaikutusta putkistosuunnittelumenetelmään. (Peltonen 2015.)

3.3 Lujuuslaskenta

Yksi osa putkiston suunnitteluprosessia on lujuuslaskenta. Jämsän toimistolla tarvittava lujuuslaskenta teetetään Pöyryn toimistoverkon kautta siihen erikoistuneella työryhmällä. Enemmistö tuotantolaitosten uusintaprojektien putkistosuunnittelusta voidaan tehdä ilman lujuuslaskentaa. Suunnittelumenetelmän vaikutus lujuuslaskennan nopeuteen liittyy lähinnä lujuuslaskentaan tarvittaviin lähtötietoihin. Laskettavasta putkesta täytyy olla täydellinen valmistuspiirustus, jossa on esitetty myös putken kannakointi. Tarvittavat tiedot näkyvät esimerkiksi putki-isometrissä.

Painelaitelainsäädännön alaiset putkistot on suunniteltava siten, että niiden riittävä kestävyys on varmistettu. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista (938/1999) antaa kaksi tapaa riittävän kestävyuden takaamiseksi, jotka ovat laskentamenetelmä ja kokeellinen suunnittelumenetelmä. Nämä menetelmät voivat täydentää toisiaan.

Kokeellisessa suunnittelumenetelmässä painelaitteen vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa testausohjelmalla, joka on suunnittelun arviointimoduulin ollessa käytössä hyväksytettävä ilmoitetulla laitoksella. Testausohjelmaan kuuluu vähintään paineenkestokoe, mutta tarvittaessa myös virumis- ja väsymiskokeita tai muita täydentäviä kokeita. Pelkästään kokeellisen suunnittelumenetelmän käyttö on rajattu pois sellaisista laitteista, joissa on suuri tilavuus tai paine. Määritys on tehty suurimman sallitun käyttöpaineen ja tilavuuden tulona. Ilman laskentaa saa kokeellista suunnittelumenetelmää soveltaa, kun edellä mainittu tulo on alle $6000 \text{ bar} \cdot L$, tai $PS \cdot DN$ on alle 3000 bar. (938/1999.)

Muissa tapauksissa on käytettävä laskentamenetelmää tai tarvittaessa kokeellisella suunnittelumenetelmällä täydennettyä laskentamenetelmää. Laskenta voidaan tehdä käyttäen laskentakaavoja, analyysimenetelmää tai murtumismekaniikkaa. Tärkeimpiä suunnitteluperusteita ovat putkiston sisäinen paine ja lämpötila sekä näiden yhdistelmät, joista vaativimman yhdistelmän mukaan laskenta on tehtävä. Laskennasta on säädetty lisäksi mm. materiaalien ominaisuuksista, varmuuskertoimista ja heikkenemisilmiöistä, joita ovat korroosio, viruminen ja väsyminen. (938/1999.)

3.3.1 Putkiston lujuuslaskenta

Käytännössä sovelletaan paljon kokeellista suunnittelumenetelmää, sillä kokemusperustaisesti on helposti tunnistettavissa sellaiset putkistot, jotka eivät tarvitse lujuuslaskentaa. Lisäksi on todettu järkeväksi tehdä asennustyön onnistumisen varmistamiseksi putkistolle niin sanottu vesiajo, joka voidaan helposti toteuttaa siten, että samalla saadaan suoritettua vaatimukset täyttävä paineenkestokoe. Näin meneteltäessä ei kooltaan pienille ja lämpötilaltaan vähäisille putkistoille ole lainsäädännöllisesti tarpeen tehdä lujuuslaskentaa.

Lujuuslaskentaa tehdään tyypillisesti höyry- ja lauhdeputkistoille, joiden koko on suurempi kuin DN 150. Höyryputkistojen laskentatarve johtuu suuresta lämpötilasta ja paineesta, jotka voivat korkeimmillaan olla tulistetulla höyryllä yli 500 °C ja 10 MPa. Kuitenkin jo pienempienkin höyryputkien yli 100 °C lämpötila voi aiheuttaa putkiston lämpölaajenemisen vuoksi sellaisia siirtymiä ja jännityksiä, jotka on syytä ottaa huomioon. Höyryputkistot ovat yleisimpiä teollisuuden suurien lämpötilojen ja paineiden putkistoja, mutta laskentatarvetta aiheuttaa erityisesti lämpötila, oli virtaava aine mikä tahansa. Putken paineenkesto on helposti laskettavista, mutta lämpölaajenemisen aiheuttamat jännitykset on huomioitava tapauskohtaisesti. Luonnollisesti sisäisen tai ulkoisen paineen ja lämpölaajenemisen aiheuttamat jännitykset on huomioitava yhdessä ja muistettava myös putkimateriaalin lujuuden heikentyminen korkeissa lämpötiloissa. (Hätinen 2015.)

3.3.2 Kannakkeiden lujuuslaskenta

Putkiston lujuuslaskenta on tiukasti sidoksissa sen kannakointiin. Kiintopistekannakkeiden sijainti vaikuttaa putkeen syntyviin lämpöjännityksiin. Kannakkeiden tyypit ja sijainnit on suunniteltava siten, että lämpölaajenemisesta ei koidu rasitusta kannakkeille, putkeen liittyville laitteille, eikä putkelle itselleen. Kannakkeiden lujuuslaskenta etenee käsi kädessä putkiston suunnittelun kanssa, sillä kannakevoimia ei voida laskea ennen kuin putkiston muoto ja kannakkeiden sijoitus on selvillä. Toisaalta ei putkistoonkaan aiheutuvia voimia pystytä laskemaan tätä aikaisemmin. Usein joudutaankin laskennan jälkeen muuttamaan putkireittiä kannakkeisiin ja putkistoon kohdistuvien voimien pienentämiseksi. (Hätinen 2015.)

3.3.3 Teräsrakenteiden lujuuslaskenta

Suuri osa tuotantolaitoksiin suunniteltavista teräsrakenteista, kuten työskentelytasot, tuotantolaitteiden perustukset ja tukirakenteet, nostokiskot ja nostolaitteiden tukirakenteet edellyttävät lujuuslaskentaa. Laskentatehtävien luonne on kuitenkin sellainen, että suunnittelumenetelmällä ei ole juurikaan merkitystä, sillä laskenta pystytään tekemään pääasiassa palkkiteoriaa käyttämällä. (Peltonen 2015.)

3.4 Suunnittelun haasteet

Suunnitteluongelmat ovat pääasiassa tilankäytöllisiä, koska olemassa oleviin tuotantotiloihin pitää saada mahtumaan uusia putkistoja tai laitteita ja niiden rakenteita. Kun toimitaan vanhassa tehdasympäristössä, jossa laitteistoihin on tehty lukuisia muutoksia ja uusintoja, ei dokumentaatio useinkaan täysin vastaa todellista ympäristöä. Lisäksi layout-piirustuksien tarkkuus ei ole alun alkaenkaan ollut sellainen, että niiden pohjalta voisi suunnitella olemassa olevaan tehdasympäristöön uusia putkistoja tai teräsrakenteita. Käytettävissä olevan tilan ja uusien putkistojen sekä rakenteiden sijainnin suunnittelumiseksi täytyykin olemassa oleva ympäristö huomioida joko kenttämittauksilla, tai laserkeilauksella.

Tilanahtaudesta aiheutuvia haasteita lisäävät erilaiset suunnitteluvaatimukset, joita putkistoille ja rakenteille on annettu. Putkistojen kohdalla tällaisia vaatimuksia ovat mm. höyry-, viemäri- ja elintarvikeputkistoille vaadittavat kallistukset. Tällöin on pidettävä huolta, että putki säilyy samaan suuntaan laskulla, eikä pusseja pääse syntymään. Ahtaissa tiloissa tämä ei aina ole mahdollista, vaan laskun suuntaa täytyy vaihtaa tilarajoitteiden vuoksi. Tällaisiin kohtiin on lisättävä tyhjennyksiä, jolloin on otettava huomioon, kuinka paljon tilaa tyhjennys vaatii ja mihin se viemäroidään. Höyryputkien kohdalla tilanne on vielä vaikeampi, sillä niiden pitäisi olla laskulla virtaussuuntaan päin, ja jos tämä ei ole mahdollista huomioitava erikseen aiheutuuko virtaussuuntaa vastaan olevasta kallistuksesta joissain tilanteissa haittaa.

Elintarvike- ja muissa hygieenisissä putkistoista saatetaan tarvita lisäksi putkiston pesuja, sterilointeja ja höyrysulkuja. Myös nämä kaikki vaikuttavat putkiston geometriaan ja niiden aiheuttamat vaatimukset ovat osittain jopa ristiriitaisia. Nimittäin putkiston hyvä

peseytyvyys pesuliuosta käytettäessä edellyttää riittävää virtausnopeutta, minkä vuoksi putkiston virtausvastus pitäisi olla mahdollisimman pieni. Steriloinnissa putkisto kuumennetaan höyryllä, mikä aiheuttaa putkiston lämpölaajenemisen. Lämpölaajenemisesta aiheutuvia jännityksiä saadaan pienennettyä tekemällä putkistoon niin sanottuja paisuntalenkkejä, jotka kuitenkin lisäävät virtausvastusta. Höyrysulut eivät aiheuta tällaista ristiriitaa, mutta ne lisäävät putken osien määrää ja sitä kautta tilantarvetta. Höyrysuluissa nimittäin tuodaan kuumaa höyryä hygieenisen putken haarakohdissa olevien venttiileiden taakse, jotta ne pysyvät steriileinä.

Hyvää peseytyvyyttä edellyttävissä putkissa voi tilankäytöllisiä haasteita aiheuttaa myös putkenosien ja venttiileiden sijoittelu. Venttiileillä on usein olemassa sellainen asennuskulma, jossa peseytyvyys on paras mahdollinen, ja tämä täytyy ottaa huomioon sijoitusta mietittäessä. Putkiston peseytyvyyden kannalta olennaista voi olla myös esim. haarakohdissa venttiilien sijoitus siten, että haarautuva linja peseytyy kunnolla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että venttiilin ja haarakohdan välisen putken pituus minimoidaan, jopa niin, että valmiita putkenosia leikataan lyhemmäksi. Tällainen venttiilien sijoitus asettaa vaatimuksia linjan reitille, jotta myös haaroittuvien linjojen venttiilit mahtuvat paikoilleen oikeaan asentoon. (Heinänen 2015.)

4 2D-SUUNNITTELU

Pöyryn Jämsän toimisto käyttää 2D-suunnitteluun pääasiassa Autodeskin AutoCAD-tuoteperheen ohjelmia. Putkisto- ja teräsrakennesuunnittelua tehdään AutoCAD- ja CADMill Mechanic -ohjelmilla. Seuraavissa kohdissa esitetyt suunnittelumenetelmän osa-alueet on kuvattu olemassa oleviin tuotantolaitoksiin tehtävän putkisto- ja teräsrakennesuunnittelun näkökulmasta, edellä mainittuja suunnitteluohjelmia käytettäessä. Tiedot perustuvat käytännön suunnittelutyöstä saatuihin kokemuksiin ja oppimiseen.

4.1 Putkistosuunnittelu

Olemassa olevaan tuotantolaitokseen tehtävä 2D-putkistosuunnittelu aloitetaan hankkimalla kohteeseen liittyvät piirustukset, varmistamalla niiden ajantasaisuus ja tutkimalla, kuinka paljon niitä voidaan hyödyntää uuden putkiston suunnittelussa. Tämän jälkeen jatketaan piirtämällä suurpiirteiset putkireitit layout-kuviin prosessikaavion. Tämän jälkeen käydään kentällä putkireitit tarkemmin läpi ja tehdään mittaukset. Mittauksien mukaan piirretään tarkka putkireitti niihin piirustuksiin, joita kohteesta on käytettävissä. Sellaisista kohdista, joissa putkiston korko vaihtuu tai väistetään olemassa olevia putkia tai muita rakenteita sekä erityisesti putkiston haaroituksista ja venttiilin sijoituksista, tai muista tarpeellisiksi katsotuista kohdista piirretään tarvittava määrä leikkauskuvia.

Käytettäessä 2D-suunnittelutekniikkaa joudutaan putkisto piirtämään kaikista suunnista erikseen. Periaatteessa Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen (938/1999) tarkoittaman valmistuspiirustuksen tunnusmerkit täyttää myös täydellisesti mitoitettu putkijoituspiirustus, jossa putkisto on kuvattu tarvittavista suunnista. Usein kuitenkin halutaan käyttää isometrisiä putkistopiirustuksia, jotka joudutaan 2D-ohjelmaa käytettäessä piirtämään erikseen.

4.1.1 Putkistosuunnittelun lähtötiedot

Tärkein putkistosuunnittelun lähtötieto on prosessikaavio, sillä se määrittää mihin prosessilaitteisiin putkisto liittyy. Putkireitin kannalta yhtä olennainen tieto on laitekartta, josta ilmenevät näiden putkistoon liittyvien prosessilaitteiden sijainnit. Laitekartassa

näkyvät niin ikään tuotantorakennuksen pilarit, seinät ja muut rakenteet, jotka ovat myös merkityksellisiä putkireitin kannalta. Lisäksi 2D-suunnittelussa on merkitystä myös olemassa olevilla putkireittipiirustuksilla, koska niitä voidaan käyttää valmiina pohjana uutta putkea suunniteltaessa.

4.1.2 Kenttämittaukset

Putkistopiirustusten tarkkuus on riippuvainen kenttämittauksien tarkkuudesta. Putkisijoituksen suunnittelun tarkkuusvaatimuksista on erilaisia näkökulmia riippuen putkiston koosta, lämpötilasta ja virtaavasta aineesta. Matalan vaatimustason putkissa voidaan hyvin luottaa putkistourakoitsijan ammattitaitoon putken lopullisessa sijoituksessa. Mikäli kuitenkin kyseessä on esimerkiksi höyry- tai kemikaaliputki, jonka pitää täyttää erityisen tarkat vaatimukset, on syytä suunnitella reitti tarkemmin. Tällöin voidaan putkistoreittiä tarkastella eri osa-alueiden asiantuntijoiden kanssa, ja varmistua, että putken sijoitus täyttää mm. turvallisuus-, kestävyys-, hygieni- ja kustannusvaatimukset.

Kenttämittaukset on saatava sidottua olemassa oleviin layout-piirustuksiin. Yleisesti käytetään mittausten referenssinä pilareita, pilarilinjoja ja lattiaita. Kun suunnittelussa otetaan mitat selkeästi ja käytännöllisesti, layout-piirustuksissa näkyvistä rakenteista, onnistuu putkiston valmistusvaiheessa mittaus kivuttomasti näistä samoista rakenteista, jolloin todellisuus vastaa hyvin suunnitelmaa.

4.1.3 Kannakesuunnittelu

Putkiston kannakkeiden sijainti merkitään putkireittipiirustukseen ja kannakkeista piirretään lisäksi leikkauskuvat tarvittavista suunnista. Yleensä voidaan ja myös pyritään käyttämään samanlaisia kannakkeita useassa kohdassa putkireittiä, jolloin voidaan käyttää samoja kannakekuvia useille eri kannakkeille.

4.2 Teräsrakennesuunnittelu

2D-menetelmällä tehtävä teräsrakennesuunnittelu vastaa pääpiirteittäin, putkistosuunnittelua. Erona on pienempi tarve layout-tyyppisille kuville ja toisaalta suurempi tarve detaljikuville. Tarpeen on esittää uuden rakenteen lisäksi myös, liityntä olemassa oleviin rakenteisiin. Kuten 2D-menetelmässä on totuttu, joudutaan rakenne piirtämään erikseen tarvittavista suunnista. Osaluettelon laatimiseen puolestaan on olemassa automatisoituja toimintoja, joissa piirustusohjelma muodostaa osaluettelon ohjelman kirjastosta valittujen teräsprofiilien perusteella sekä laskee osien pituudet ja painot.

5 3D-SUUNNITTELU

Jämsässä on valittu putkistojen ja teräsrakenteiden 3D-suunnitteluohjelmaksi Aveva PDMS. Tärkeimpiä syitä kyseisen ohjelman käyttöön on sen sopivuus asiakkaiden vaatimuksiin, sekä ohjelman vankka asema Pöyryn omassa organisaatiossa. Käytettäessä 3D-suunnittelutekniikkaa luodaan ensin 3-ulotteinen tietokonemalli suunniteltavasta kohteesta. Tämän mallin avulla voidaan luoda nopeasti työpiirustuksiin taso- ja leikkauskuvia eri suunnista, sekä isometrisiä kuvia. Seuraavissa kohdissa on keskitytty kuvaamaan olemassa oleviin tuotantolaitoksiin tehtävän putkisto- ja teräsrakennesuunnittelun vaiheita Aveva PDMS -ohjelmaa käytettäessä. Tiedot perustuvat käytännön suunnittelutyöstä saatuihin kokemuksiin ja oppimiseen.

5.1 Putkistosuunnittelu

Putkisto mallinnetaan olemassa olevaan 3D-ympäristöön saatavissa olevien mittatietojen perusteella. 3D-suunnittelun aloitusvaiheessa on tarpeen mallintaa tehdasrakennuksen pilareita, seiniä ja lattiaita, jolloin putkiston sijainti on mahdollista hahmottaa suhteessa rakenteisiin. Pilareita ja seiniä tarvitaan jatkossakin, jotta putkireittiä piirustuksia tehtäessä saadaan putkisto sidottua olemassa oleviin rakenteisiin. Vaihtoehtoinen, mutta ei aivan yhtä havainnollinen, tapa on mitoittaa putkisto pilarilinjoista. Tämä tapa hienoa nopeuttaa suunnittelua, mutta tällöin pilarilinjojen on syytä olla selkeitä ja pilarien tasakokoisia mittavirheiden välttämiseksi.

Putkiston mallinnus tehdään PDMS-ohjelmalla siten, että ensin valitaan käytettävä putkistospesifikaatio, jolloin käyttöön avautuvat kyseisen spesifikaation mukaiset putkenosat. Tämän jälkeen luodaan suunnittelu ympäristöön tarvittavan kokoinen putkenosa, ja tämän jälkeen seuraava putkenosa, jolloin näiden osien väliin muodostuu automaattisesti tarvittava määrä suoraa putkea. Kaikki malliin luodut putkenosat sisältävät älyä, ja ohjelma osaa lopulta tehdä valmiista putkesta materiaali luettelot, joista ilmenee eri putkenosien, sekä suoran putken määrä. Tämän vuoksi on tärkeää käyttää mallinnusvaiheessa oikeaa putkistospesifikaatiota ja oikeita putkiosia.

5.1.1 Putkistosuunnittelun lähtötiedot

Suunnittelun lähtötiedot ovat pääpiirteittäin samat kuin 2D-suunnittelussa. Prosessikaavio on edelleen tärkeä lähtötieto, samoin laitekartta tai layout-piirustus. Layout-piirustus saattaa kuitenkin osoittautua tarkkuudeltaan puutteelliseksi, varsinkin jos 3D-mallin kanssa on tarkoitus käyttää yhdessä laserkeilatun aineiston kanssa. Syynä tähän on se, että olemassa olevat 2D piirustukset eivät välttämättä riittävän tarkasti vastaa todellisuutta, kun taas laserkeilattu malli on tarkkuudeltaan muutamia millimetrejä. Tilanne on toki tapauskohtainen ja riippuu tuotantolaitoksen rakennuksista ja niistä olevista dokumentaatioista.

5.1.2 Kenttämittaukset

3D-mallinnus kenttämittausten perusteella tehtäessä edellyttää tarkempaa ja laajempaa mittaamista, kuin 2D-suunnittelussa. Tämä johtuu siitä, että putkisto on koko pituudeltaan sijoitettava kolmessa dimensiossa. Periaatteessa toki voidaan jättää joiltakin osin mittaamatta vaikkapa putken tarkka korkeus, jolloin se on putkea mallinnettaessa määritettävä suurpiirteisesti. Näin tehty malli voi joissain tilanteissa ajaa asiansa, mutta esivalmistukseen kelpaavia isometrejä ei tällaisella menettelyllä saada. Myös mallin yhdistäminen laserkeilatun aineiston kanssa aiheuttaa tällöin varsin helposti putken törmäyksiä rakenteisiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että 3D-ohjelmalla ei ole kovin järkevää mallintaa sellaista putkea, josta ei haluta tehdä täydellisesti mitoitetuja valmistuspiirustuksia. Tällainen menettelytapa voi tulla kysymykseen, kun putki valmistetaan paikanpäällä ja putkiasentaja varmistaa silloin putken lopullisen mitoituksen.

Kenttämittaukset isometrinen putkipiirustusten edellyttämällä tarkkuudella, etenkin hankalissa olosuhteissa, vaativat suuren työtuntimäärän. Mitä monimutkaisempi putkireitti on, sitä hitaampaa on mittaaminen. Mittauksissa tarvitaan käytännössä kaksi henkilöä, koska pitkiä etäisyyksiä mitattaessa mitan toisesta päästä on pidettävä kiinni. Yksin mittaaminen olisi hitaampaa ja laadullisesti huonompaa. Ahtaissa tai muuten haastavissa tiloissa putkireitin miettiminen on eräänlaista tuotekehitystä.

Mielessä on pidettävä jatkuvasti putkelle asetetut vaatimukset, joita ovat putkikoko, eristys, lasku, tyhjennyksien paikat, venttiilien paikat, kannakointi, valmistettavuus,

telineiden käyttö ja huoltokohteiden luokse pääsy. Lisäksi täytyy pyrkiä aiheuttamaan uudella putkella mahdollisimman vähän haittaa olemassa olevan laitteiston toiminnalle, käytettävyydelle ja huollettavuudelle ja yritettävä jättää tilaa myös mahdollisille myöhemmin tuleville putkille. Putken reittiä suunniteltaessa on tasapainoitava näiden vaatimusten välillä ja tehtävä kompromisseja painottaen asiakkaan mielestä tärkeimpiä asioita. Tällainen, ahtaissa tehdasolosuhteissa hyvinkin haasteellinen, eri vaihtoehtojen ideointi ja ideoiden välitön arviointi on kahden työntekijän aivoriihessä sujuvampaa, kuin yksin tehdessä. Hyvää kenttämittauksissa on se, että asiakas on lähellä, ja ehdotuksen uudesta putkireitistä voi tehdä saman tien paikan päällä, jolloin väärinkäsityksien vaara pienenee, eikä käytetä aikaa sellaisien putkireittien selvittämiseen, joita asiakas ei hyväksy. Asiakas on kuitenkin usein tehdasmiljöönsä paras asiantuntija.

Käytännössä huomattua on, että kenttämittausten yhteydessä kannattaa ottaa runsaasti valokuvia. Suuren valokuvamäärän kanssa kannattaa kuitenkin olla erityisen tarkkana, ja kirjata ylös jo kuvasvaiheessa, mitkä kuvat ovat mistäkin kohteesta. Puhelimella kuvatessa voi esimerkiksi jokaisen kuvauskohteen kuville luoda oman kansion. Tämä vie hieman enemmän aikaa kuvatessa, mutta säästää huomattavasti aikaa kerättyä tietoa käytettäessä. Sama pätee muistiinpanoihin. Kannattaisi tehdä kerralla kunnolliset ja havainnolliset muistiinpanot, tai vähintäänkin välittömästi mittauksen jälkeen käsitellä mittausaineisto ja kerätä tarpeelliset mitat mahdollisuuksien mukaan samaan kuvaan.

5.1.3 Mallinnus kenttämittausten avulla

Mallinnus käsintehtyjen muistiinpanojen avulla on hidasta, koska kaikkea ei ole pystytty mittaamaan ja osa tiedoista on etsittävä layouteista ja osa muistiinpanoista. Toisaalta kenttäolosuhteissa tehtyjen muistiinpanojen laadun saaminen vastaamaan hyvää ja helppolukuista piirustusta vaatisi huomattavan määrän työtunteja. Koko ajan on pidettävä mielessä, että tulee käyttäneeksi oikeita mittoja. Kenttämittausten referenssipisteet vaihtelevat sen mukaan, mistä on ollut helpointa ja tarkinta mitata. Mallintaessa täytyy olla erityisen tarkkana, että paikoittaa rakenteet oikean referenssin mukaisesti.

Lähtötietona käytettävät 2D-kuvat eivät ole todenmukaisia, joten jos jotain on jäänyt mittaamatta, on käytävä uudestaan kentällä. 2D-piirustuksista voi kuitenkin tehdä suuntaa antavia mitoituksia, jotka voivat joissain tapauksissa olla riittäviä.

5.1.4 Mallinnus laserkeilauksen avulla

Laserkeilattu pistepilvi- tai pintaverkkomalli nopeuttaa ja varsinkin tarkentaa putkiston mallinnustyötä huomattavasti verrattuna kenttämittausten perusteella tehtävään mallinnukseen. PDMS-ohjelmassa ei kuitenkaan ole tällä hetkellä käytettävissä mahdollisuutta tuoda laserkeilauksen tuottamaa pintaverkkomallia suoraan mallinnusympäristöön. Sujuvimமாகsi mallinnustavaksi onkin osoittautunut yhdistää PDMS-malli ja laserkeilauksen tuottama pintaverkkomalli Navisworks Simulate -ohjelmalla. PDMS-mallin tallentaminen Simulaten lukemaan tiedostomuotoon käy muutamassa sekunnissa ja yhdistetyn mallin päivittäminenkin kymmenissä sekunneissa, jolloin mallinnettu putkisto tai rakenne ilmestyy näkyviin pintaverkkomalliin. Uuden putkiston mallintaminen vaatii tässä toimintatavassa vielä putken likimääräistä sijoittamista PDMS:n 3D-ympäristöön, mitä kuitenkin helpottaa jos on mallinnettu tehdasrakennuksen seinät ja pilarit. Kun putkisto on suurin piirtein oikealla paikallaan, yhdistetään PDMS-malli pintaverkkomalliin, jolloin voidaan tarkentaa putken sijaintia suhteessa olemassa olevaan ympäristöön. Navisworks Simulaten avulla pystyy melko helposti mittaamaan, kuinka paljon putkea täytyy siirtää, jotta se ei törmää olemassa oleviin putkiin. Laserkeilatun mallin käyttö lisää putkistomallinnuksen tarkkuutta, sillä hyvälaatuisen keilatun mallin avulla putken voi sijoittaa muutaman millimetrin tarkkuudella. Lisäksi hyvälaatuisessa mallissa näkyvät kaikki ympäristössä olevat putket, kaapelihyllyt, kaiteet ja muut olemassa olevat esteet, joita uuden putken on väistettävä.

Ongelmia laserkeilausaineiston perusteella tehtävässä mallinnuksessa aiheuttaa lähinnä keilatun mallin huono laatu. Jos keilauspisteitä on mallinnettavalla alueella liian vähän, tai pistepilvimallista on muodostettu pintaverkko liian karkealla tarkkuudella, voivat pienemmät kohteet, kuten alle 100 mm kokoiset putket ja kaapelihyllyt, olla vaikeasti hahmotettavia. Lisäksi sellaisissa paikoissa, joissa on esimerkiksi putkia useassa kerroksessa, eivät toisten putkien takana olevat putket luonnollisesti näy selkeästi. Näitä ongelmia voi välttää ottamalla runsaasti valokuvia alueelta, johon suunnittelu kohdistuu. Laserkeilauksen myötä on pääsääntöisesti käytettävissä myös niin sanottu truvieu-aineisto, joka on eräänlainen panoraamakuva samasta kohdasta, josta itse laserkeilaus on tehty. Truvieu-aineisto ei kuitenkaan täysin korvaa valokuvia, sillä jos jokin kohta on jäänyt katveeseen keilausaineistossa, on se katveessa myös truvieu-näkymässä. Liitteessä 1 on esitetty kaksi eritasoista laserkeilauksen avulla tuotettua 3D-mallia.

Laserkeilauksen tarkkuudessa piilee myös dilemma, sillä mikäli laserkeilattu alue on suuri, tulee siitä muodostettavasta pintaverkkomallistakin suurikokoinen. Jos tarkkuutta vielä lisätään, kasvaa mallin koko helposti niin suureksi, että sen käsittelystä tulee hidasta. Jo 2-3 GB kokoinen malli vaatii tietokoneelta tavanomaista tehokkaampaa suoritinta, jotta mallissa navigoiminen olisi sujuvaa. Tämän vuoksi sujuvan työskentelyn kannalta olisi mallin koko pidettävä kohtuullisena joko tinkimällä tarkkuudesta, tai rajoittamalla keilatun alueen kokoa mallissa. Hitainta työskentely on näin ollen sellaisen putkiston ollessa kyseessä, joka sijoittuu laajalle alueelle ja pitää sijoittaa tarkasti olemassa olevien pienten putkistojen tai yksityiskohtien lähelle.

5.1.5 Putkistospesifikaatiot

Olennainen osa PDMS-ohjelmalla saavutettavista eduista verrattuna 2D-suunnitteluun ovat putkimateriaaliluettelot. Toinen etu nopea putkistoisometrien tuotanto. Jotta nämä edut saavutettaisiin, on putkistospesifikaation oltava kunnossa. Tämä tarkoittaa sitä, että putkiosat ovat standardin mukaisia mitoiltaan, ja niille on syötetty oikeat attribuutit.

Hyvin tehdyllä putkistospesifikaatiolla, tai toisin sanoen putkiosakirjastolla on merkitystä myös mallinnustyön sujuvuuden kannalta. Kun putkien osat ovat kirjastossa hyvässä järjestyksessä ja hyvin nimettyinä, ei niiden etsimiseen mallinnustyötä tehdessä kulu turhaan aikaa. Lisäksi erilaiset toistuvat osakokonaisuudet, kuten liittimet, joissa esiintyvät samat osat samassa järjestyksessä, on mahdollista tallentaa kirjastoon siten, että koko osakokonaisuuden voi hakea samalla kertaa.

5.1.6 Kannakesuunnittelu

Kannakesuunnitteluun on PDMS-ohjelmassa oma sovellus. Primäärikannakkeet, eli putkisanka ja siihen suoraan liittyvät osat ovat standardoituja, ja niille on tehty samankaltainen spesifikaatio kuin putkillekin. Primäärikannakkeiden mallinnus käy siten nopeasti, valitsemalla sopiva kannaketyyppi ja osoittamalla sen sijainti. Sekundäärikannakkeille on olemassa kirjastossa valmiita rakenteita, mutta jos niistä ei löydy sopivaa, voidaan kannake mallintaa sopivista teräsprofiileista, joita niin ikään on kirjastossa.

5.2 Teräsrakennesuunnittelu

Teräsrakennesuunnitteluun on niin ikään oma työkalunsa. Ohjelman kirjastossa on erilaisia teräsprofiileita, joita käyttämällä voi mallintaa halutun laisen teräsrakenteen, mikäli kyseessä on putkista tai palkeista koostuva rakenne. Hoitotasoja varten on oma sovelluksensa, jossa pystyy kirjastoista valitsemaan sopivat teräsprofiilit ja ritilätyypit.

6 DOKUMENTOINTI

Käytettiinpä suunnittelussa mitä tahansa menetelmää, tarvitaan putkiston ja teräsrakenteiden valmistamiseen silti samat tiedot. Niin putkistoissa, kuin teräsrakenteissakin vaikuttavat tarvittavien dokumenttien määrään ja laatuun asiakkaan ja urakoitsijan vaatimusten lisäksi lainsäädäntö. Tavanomainen tilanne pienissä ja keskisuurissa uusintaprojekteissa on sellainen, että asiakas on tilannut suunnittelun erikseen suunnittelutoimistolta ja sitten alustavien suunnitelmien avulla valitaan urakoitsija. Tällaisessa toimintatavassa asiakas teettää suunnittelutoimistolla ensin sellaiset tekniset asiakirjat, joilla voidaan tehdä urakan tarjouskysely ja tämän jälkeen sellaiset asiakirjat, joilla urakoitsija pystyy toteuttamaan ko. urakan. Koska painelaitelainsäädännön mukaan valmistaja on vastuussa tarvittavien teknisten asiakirjojen toimittamisesta asiakkaalle, edellyttää urakoitsija suunnittelutoimistolta sellaisia dokumentteja, että lainsäädännölliset vaatimukset täyttyvät. Viime kädessä dokumentaatiota koskevat vaatimukset tulevat siis lainsäädännöstä ja valmistuksesta. (Peltonen 2015.)

Asiakas voi kuitenkin syystä tai toisesta pyytää minimivaatimustasoa laajemmat asiakirjat, esimerkiksi isometriset kuvat putkistosta, vaikka tämä ei välttämättä olisi tarpeellista putkiston valmistuksen tai lainsäädännön kannalta. Tällainen toimintatapa voi olla järkevä sellaisissa tilanteissa, joissa tuotantolaitteiston käyttöaste on korkea. Hyvien valmistuskuvien, perusteella voidaan tehdä putkiston osia esivalmisteena, jolloin paikanpäällä tehtävä asennustyö käy huomattavasti nopeammin ja laitteiston seisonta-aika jää lyhemmäksi. (Peltonen 2015.)

6.1 Tarjouskyselyaineisto

Tarjouskyselyaineiston tarkoitus on antaa urakoitsijoille riittävät tiedot tarjouksen tekemiseen kyseessä olevasta urakasta. Tarjouskyselyaineiston laajuus ja tarkkuus vaihtelee urakan suuruuden ja asiakkaan vaatimusten mukaan. Mitä suurempi hanke on kysymyksessä, sitä merkittävämpiä budjetoinnissa syntyvät virheet ovat rahallisesti. Järkevää on tehdä suurista hankkeista mahdollisimman tarkka tarjouskyselyaineisto, joilla saadaan todellinen kuva urakan kustannuksista ja urakoitsijat samalle viivalle. Toisaalta pienemmissä hankkeissa ei välttämättä kannata käyttää liikaa aikaa tarjouskyselyaineis-

ton tekemiseen, koska pienestä epätarkkuudesta koituvat erot eivät rahallisesti ole niin suuria, ja voivat hukkaa liiallista tarkkuutta haettaessa suunnittelukustannuksiin. Kullakin asiakkaalla on tarjouskyselyaineiston tekemiseen omat näkemyksensä. Kansainvälisillä suuryrityksillä voi olla standardoidut toimintatavat, joita he noudattavat kaikissa toimipisteissään.

6.1.1 Suunnittelumenetelmien erot tarjouskyselyvaiheessa

Koska 2D- ja 3D-menetelmien filosofiassa on eroavaisuuksia, on tarjouskyselyaineiston tekeminen niillä hieman erilaista. Nopea, mutta tarkkuudeltaan paljon suunnittelijan kokemuksesta ja ammattitaidosta riippuva, tapa on tehdä pelkkä summaluettelo urakassa tarvittavista materiaaleista ja karkea putkireittipiirustus. Sitten käydään urakoitsijan kanssa paikan päällä katsomassa mihin työ tarkalleen ottaen tehdään. Nämä tiedot riittävät usein urakoitsijalle tarjouksen tekemiseen. Tällainen menettely on tyypillinen varsinkin silloin, kun tarjouskysely halutaan tehdä mahdollisimman nopeasti.

3D-suunnittelu sopii luonteeltaan paremmin tarkan tarjouskyselyaineiston tekemiseen. Tämä johtuu siitä, että putkisto tai teräsrakenne on mallinnettava kokonaisuudessaan, jos halutaan käyttää ohjelman ominaisuutta luoda materiaaliluettelot ja isometriset piirustukset automaattisesti. Jos materiaaliluettelot halutaan nopeasti, on hankkeeseen tarvittava putkimäärä sijoitettava malliin vain karkeasti. Putkimäärät perustuvat tällöin yhtälailla arvioon, kuin pelkkää summamateriaaliluetteloa tehtäessä. Lopputulos on periaatteessa sama, suunnittelumenetelmästä riippumatta. Samoin epätarkkuus näkyy tarjouskyselyaineistossa yhtälailla kumpaakin menetelmää käytettäessä.

Suunnittelumenetelmien sisällä ajankäyttö kuitenkin eroaa toisistaan. 2D-menetelmässä aikaa kuluu materiaaliluetteloiden ja taso- ja leikkauskuvien tekemiseen. Mikäli halutaan tinkiä kyselyaineiston tekoon käytettävästä ajasta, on vähennettävä piirustusten määrää. 3D-menetelmässä suurin osa ajasta kuluu mallintamiseen, ei niinkään luetteloiden, isometrien tai taso- ja leikkauskuvien tekemiseen. Jos menetelmää halutaan nopeuttaa, on malli tehtävä suurpiirteisemmin. Tällöin on syytä painottaa putken ja putkiosien määrän tarkkuutta, aivan tarkalla putkisijoituksella ei puolestaan ole tarjouskyselyn kannalta yhtä olennaista vaikutusta. Pääasia on, että mallista tehtävät materiaaliluettelot olisivat riittävän tarkkoja. Vaikka mallista saisikin tehtyä nopeasti leikkauskuvia ja iso-

metrejä, ei se ole järkevää, koska epätarkoista putkikuvista ei ole hyötyä. Lopputuloksena on siis samat dokumentit kumpaakin suunnittelumenetelmää käytettäessä.

6.2 Materiaaliluettelot

Materiaaliluettelon perusteella urakoitsija tilaa hankkeen valmistuksessa tarvittavat materiaalit. Putkistosuunnitelmien loppuvaiheen dokumentaatiossa on yleensä summamateriaaliluettelon lisäksi putkilinjakohtainen materiaaliluettelo. Nämä luettelot saadaan PDMS-mallista generoitua automaattisesti. Mikäli malliin tulee muutoksia, ovat listat helppo tehdä uudelleen, jolloin ne ovat taas ajan tasalla. 2D-suunnitteluohjelmissa täytyy materiaaliluettelot tehdä ja päivittää pääosin käsin. (Peltonen 2015.)

6.3 Taso- ja leikkauskuvat

Putkistosuunnittelussa tasokuvia tehdään pääsääntöisesti tuotantolaitoksen jokaisesta niistä kerroksesta, joihin putkisto ulottuu. Leikkauskuvia puolestaan tehdään rakennuksen pilarilinjojen kohdalta. 2D-suunnitteluohjelmalla jokainen leikkauskuva täytyy piirtää erikseen. Jos putkistoon tulee muutoksia, täytyy myös muutokset tehdä jokaiseen kuvaan erikseen.

3D-ohjelmalla voidaan leikkauksia tehdä halutusta kohdasta mallia, jolloin piirustukseen saadaan putkiston ja halutun ympäristön geometria valmiiksi ja tehtäväksi jää enää mitoittaminen. Jos malliin tehdään muutoksia, voidaan nämä leikkauskuvat päivittää, jolloin muokattavaksi jäävät ainoastaan sellaiset mitoitusmitat, jotka muuttuvat geometrian myötä. Koko mitoitus ei tarvitse tehdä uudelleen.

6.4 Kannakekuvat

Putkistosta tehdään usein leikkauskuvat kannakkeiden kohdalta, jolloin niissä näkyvät primäärikannakkeiden teräsrakenteet. Samalla kannakekuvat täydentävät pilarilinjakohtaisia leikkauskuvia. Kannakekuvissa pätevät samat asiat, kuin muissa leikkauskuvissa,

eli 3D-mallista otettuihin kannakkeiden leikkauskuviin tarvitsee lisätä vain mitoitus. PDMS:ssä kannakkeiden materiaalit saadaan ajettua omalle listalleen. (Peltonen 2015.)

6.5 Putkistoisometrit

Isometriset putkipiirustukset ovat putkiston valmistuskuvia, jotka sisältävät laajasti tietoa putkiston valmistusta varten. Isometrissä voidaan näyttää erilaajuisia osia koko putkistosta tai putkilinjasta. Putkistoisometri täyttää yksinään Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen (938/1999) asettamat vaatimukset putkiston valmistuspiirustukselle. Niinpä suurissa 3D-menetelmää hyödyntävissä tehdassuunnitteluprojekteissa saatetaan jättää putkireittipiirustukset tekemättä ja putkisto valmistetaan pelkkien isometriä avulla. Tällöin isometreissä on oltava sijoitusmitoitus esimerkiksi rakennuksen pilarilinjoi-
ta, jotta putket osataan sijoittaa oikeille paikoille.

Standardissa PSK 5803 on kerrottu, mitä kaikkia asioita voidaan sisällyttää putkiisometreihin. Tällaisia putkiston ominaisuuksiin liittyviä tietoja ovat muun muassa

- putkiston sijainti mitoitettuna sopivista mitoituskohdista
- putkiston laiteliitännät mitoitettuna
- tunnistustiedot, kuten putkilinja-, putkivaruste-, instrumentti- ja laitetunnukset
- varusteiden asennot
- putkiston vietot
- putkiston toimitusrajat
- kannakointi tunnuksineen ja sijaintimitoituksineen
- putkiston esijännitykset
- hitsaukseen ja lämpökäsittelyyn liittyvät tiedot
- eristys ja pintakäsittely
- koeponnistuspaine ja käytettävä väliaine
- putkiluokat.

Esimerkki PDMS-ohjelmalla tehdystä putkistoisometrillä on esitetty liitteessä 2. Kyseinen isometri on tietokoneohjelman automaattisesti generoima. Siihen ei ole merkitty putken sijaintia rakennuksen pilarilinjoihin nähden, joten valmistusta varten tarvitaan lisäksi erillinen putkien sijoituspiirustus.

7 SUUNNITTELUOHJELMIEN VERTAILU

7.1 Vertailun tavoite

Suunnitteluohjelmien vertailun tavoitteena on kehittää vertailumenetelmä, jolla pystytään arvioimaan 2D- ja 3D-ohjelmien tehokkuutta erilaisissa projekteissa. Vertailumenetelmän avulla on tarkoitus pystyä jatkossa kehittämään suunnitteluohjelmien valintaa ja käyttöä tarkoituksenmukaisemmaksi ja tehokkaammaksi.

7.2 Vertailtavat ohjelmat

Vertailtavien ohjelmien valintakriteerinä on niiden vakiintunut asema Pöyryn suunnittelutyökaluissa. Lisäksi ohjelmat ovat Jämsän toimipisteen suurimpien asiakkaiden hyväksymiä. Erityisesti 3D-suunnitteluohjelmien käytössä ja valinnassa on syytä noudattaa pitkäjänteisyyttä, sillä ohjelman vaihtaminen johtaa jo olemassa olevan 3D-mallin muokattavuuden menetykseen. Vaikka malli pystyttäisiinkin siirtämään ohjelmasta toiseen ja säilyttämään sen geometria oikeanlaisena, eivät esimerkiksi putkiston attribuutit todennäköisesti säily siirrosta. Vaihdon jälkeen vanhaa putkistoa ei pystytä enää muokkaamaan, eikä siitä pystytä ajamaan materiaalilistoja tai isometrejä. 2D-ohjelmilla vaihto voi olla hieman helpompi, mutta olemassa olevien tietojen ja ominaisuuksien menetyks voi olla mahdollista siinäkin.

7.2.1 AutoCAD ja CADMill

Jämsän toimistolla käytetään 2D-suunnitteluun tällä hetkellä Autodeskin AutoCAD 2013 -suunnitteluohjelmaa. Lisäksi käytettävissä on CADMill Mechanic, joka on AutoCAD:iin perustuva, tietokantapohjainen ohjelmisto. CADMill Mechanicissa on perinteisen mekaniikkasuunnittelusovelluksen lisäksi ominaisuudet tehdaslayout-, putkisto-, teräsrakenne- ja säiliösuunnitteluun. CADMill-ohjelmalla on myös mahdollista luoda putkistoisometrejä. (Profox Companies Oy 2015.)

CADMill helpottaa 2D-suunnittelua osakirjastojen ja tietokantaosion avulla. Standardien mukaiset mekaniikkavakio-osat, putkistokomponentit sekä prosessilaitteet löytyvät valmiina kirjastosta. Kirjastokomponenteilla on osatieto, jonka avulla ohjelmiston tietokantaosio luo piirustusten osaluetteloita ja putkistopiirustusten putkilinjakohtaiset materiaaliluettelot. (Profox Companies Oy 2015.)

7.2.2 AVEVA PDMS

AVEVA PDMS 3D soveltuu kaiken tyypisiin ja -kokoisiin tehdassuunnittelu projekteihin. PDMS-ohjelmaa voidaan käyttää niin vanhojen tuotantolaitosten päivityshankkeissa, kuin kokonaan uuden laitoksen suunnittelussa, ilman laajuusrajoituksia. Suurissa projekteissa jopa sadat suunnittelijat voivat työskennellä saman 3D-mallin parissa. Tämä on mahdollista, sillä mallinnettavat kohteet ovat varauksessa yhdelle suunnittelijalle kerrallaan ja rakentuva 3D-malli on näkyvissä kaikille suunnittelijoille jatkuvasti. (AVEVA Group Oy 2015.)

Pienen mittakaavan projekteissa PDMS:n käyttäjälle saattaa kuitenkin koitua päänaviaa ohjelman laajoista ominaisuuksista. Koska ohjelmalla pystyy suunnittelemaan kokonaisen tehtaan kaikkine osineen, siinä on omat työkalunsa seinien, lattioiden, kattojen, putkistojen hoitotasojen, kaapelihyllyjen sekä erilaisten prosessilaitteiden mallintamista varten. Kaikissa näissä eri alueiden mallinnustyökaluissa on kuitenkin erityispiirteensä, mikä on ymmärrettävää, koska jokaisen osa-alueen mallintamisen on sujuuttava tehokkaasti. Eri osioiden suunnittelutyökalut on siis optimoitu toimimaan kunkin suunnittelukohteen ehdoilla, mikä aiheuttaa sen, että eri suunnittelutyökaluihin on perehdyttävä huolellisesti, jotta niitä myös osaisi käyttää tehokkaasti. Vaikka putkien mallintamisen olisi jo oppinut hyvin, ei kaapelihyllyn suunnittelu onnistu samoilla opeilla. Suurissa projekteissa tämä ei tuota ongelmaa, koska on käytettävissä useita suunnittelijoita, joista kukin voi keskittyä käyttämään jotakin tiettyä suunnittelutoimintoa. Pienissä projekteissa puolestaan yksi tai kaksi suunnittelijaa joutuu mallintamaan kokonaisuuksia. Vaikka kokonaisuus olisikin mittakaavaltaan pieni, tarvitaan siinä kuitenkin kaikkia osa-alueita. Tällöin eri toimintojen opettelemisen tai tehottoman käytön vuoksi mallinnustyön tehokkuus kärsii.

7.3 Vertailuprojektit

Suunnittelumenetelmien vertailuun käytettävät projektit on valittu käytettävissä olleista, samalle asiakkaalle tehdyistä suunnittelutehtävistä. Tältä osin projektien vertailukelpoisuus on siis kohdallaan. Eri asiakkaiden välillä on nimittäin merkittäviä eroja suunnittelukäytännöissä ja dokumentaatiovaatimuksissa. Tästä huolimatta nämä projektit eivät ole kovin otollisia suunnittelumenetelmän vertailemisen kannalta, sillä niissä suunnittelut putkistot eroavat merkittävästi toisistaan. Lisäksi projekteissa on ollut eri suunnittelijoita, mikä aiheuttaa omalta osaltansa hajontaa. Vertailun kannalta optimaalisinta olisi ollut, jos kaikki vertailtavat 3D-projektit olisi suunnitellut sama henkilö. Näin olisi hyvä olla myös 2D-suunniteltujen projektien kohdalla, tosin tässä vertailussa sillä ei ole merkitystä, koska tätä suunnittelutapaa edustaa vain yksi projekti.

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi vertailua hankaloittaa myös käytettävissä olevan tuntikirjanpidon erittely, joka on melko karkea. Osassa projekteja mekaaninen suunnittelu on jaettu vain kahdelle eri työtehtävälle, jolloin on mahdoton sanoa, paljonko tunteja on käytetty esimerkiksi 3D-mallintamiseen ja paljonko työkuvien tekemiseen. Tosin vertailuprojekteissa 4 ja 5 on jo otettu käyttöön tarkempi erittely, joka mahdollistaa jatkossa tarkemman vertailun eri työvaiheisiin kuluneen ajan kesken.

Viimeinen, muttei vähäisin seikka vertailun merkittävyyden kannalta, on käytettävissä olevien vertailuprojektien vähyys. Suurimpana ongelmana on 2D-suunnittelukohteiden määrä, joita ei ole vertailuun käytettävissä kuin yksi. 3D-suunnittelukohteita on puolestaan neljä, mikä on kohtalainen määrä. Kuitenkin, jotta vertailulla olisi painoarvoa, suunnitteluohjelmien tehokkuuden arvioinnissa, olisi otannan hyvä olla merkittävästi suurempi, etenkin 2D-projektien osalta. Näin saataisiin muista syistä, kuin suunnittelumenetelmästä johtuva hajonta kuriin.

Toisaalta tämän vertailun tarkoituksena on toimia alustavana kokeiluna vertailumenetelmän kehittämisessä. Tähän tarkoitukseen projektien määrä on todennäköisesti riittävä. Hyvä puoli tilanteessa sentään on se, että projektit tunnetaan hyvin, jolloin voidaan arviointivaiheessa ottaa huomioon projektien eroavaisuuksista johtuvia vaihteluita tunteimäärissä.

7.3.1 Projekti 1

2D-suunnittelumenetelmää edustaa vertailuprojektien ryhmässä vain yksi projekti. Projekti 1 on melko yksinkertainen putkistosuunnittelutehtävä, johon ei sisälly merkittäviä määriä hoitotaso- tai muuta teräsrakennesuunnittelua. Vertailukelpoisuudeltaan se ei ole kuitenkaan paras mahdollinen muihin projekteihin nähden. Putkisto on nimittäin keskimääräistä hieman lyhempi ja monimutkaisempi. Tämän voi todeta putkiston osien määrästä, sillä suoraa putkea on hankkeessa käytetty yhteensä 68 m ja putkiosia puolestaan 245 kpl. Putkiosia on siis yhtä metriä kohden lähes 4 kpl, kun vertailuprojektien keskiarvo on 1,7 kpl. Putkistossa on paljon laippaliitoksia, mikä lisää osien määrää, mutta ei välttämättä samassa suhteessa suunnittelu-aikaa, koska puolikkaassa laippaliitoksessa on jo kolme putkiosaa. Toinen merkittävä ero vertailtaviin putkistoihin on se, että projektin 1 putkistolle ei ole asetettu hygieniavaatimuksia. Tämä on todennäköisesti nopeuttanut putkiston suunnittelua. Projektin suunnittelijat ovat kokeneita suunnittelijoita ja tottuneita käyttämään 2D-suunnittelutyökaluja, joten projektin toteutus edustaa tasais- ta ja ammattimaista työn suoritusta.

7.3.2 Projekti 2

Vertailuprojekti 2 on ensimmäinen tälle asiakkaalle 3D-menetelmillä tehty suunnittelutyö. Projektin mekaaninen suunnitteluosuus koostuu suurimmaksi osaksi putkistosuunnittelusta. Laitossuunnittelun osuus koko mekaanisesta suunnittelusta on noin kymmenys, ja teräsrakennesuunnittelu ei sisällä putkiston kannakoinnin lisäksi merkittäviä teräsrakenteita. Putkisto edustaa vertailuryhmän toista ääripäätä projektiin 1 verrattuna, sillä putkiston pituus on 233 m ja putkiosia on vain 55 kpl, mikä tekee 0,2 putkiosaa yhtä metriä kohden, kun projektissa 1 määrä on lähes 6 kpl.

Suunnittelutyötä ovat tehneet kaksi suunnittelijaa siten, että toinen on suunnitellut putkireitin, ja toinen on tehnyt putkiston 3D-mallin reittisuunnitelman perusteella. 3D-mallinnus on tehty PDMS-ohjelmalla. Molemmat projektin suunnittelijoista ovat kokeneita suunnittelijoita ja tottuneita näiden menetelmien käytössä. Koska projekti on ensimmäinen asiakkaalle tehty 3D-suunnittelutyö, sisältyy suunnittelutunteihin myös 3D-mallin perustaminen.

7.3.3 Projekti 3

Projekti 3 sisältää suuren osan hoitotaso- ja muuta teräsrakennesuunnittelua, mutta tuntimenekki on hyvin eritelty, joten vertailussa voidaan käyttää putkistosuunnittelun osuutta. Tämän projektin putkisto on vertailuryhmän keskiarvoon verrattuna hieman lyhempi ja monimutkaisempi. Putkea on 110 m ja putkiosia 300 kpl, mikä tekee vajaat 3 kpl/m, keskiarvon ollessa 1,7 kpl/m. Projekti on hyvin vertailukelpoinen, sillä se edustaa melko tyypillistä kyseiselle asiakkaalle tehtyä suunnittelutyötä, ja suunnittelijana on toiminut tottunut 3D-suunnittelija.

7.3.4 Projekti 4

Neljäs vertailtava projekti on ensimmäinen työelämässä lähes täysin itse tekemäni putkistosuunnittelutehtävä. Tämän projektin suunnitteluun on siten sisältynyt merkittävä määrä oppimista, mikä on syytä ottaa huomioon vertailussa muihin projekteihin. Perustaidot putkistosuunnittelussa ja PDMS-ohjelman käytössä tosin olivat projektin suunnittelua aloittaessa hallussa kurssin ja perehdytyksen ansiosta. Putkisto on luonteeltaan vertailuryhmän keskitasoa. Putkiston pituus on 180 m ja putkiosien määrä 220 kpl, jolloin osien määrän suhde pituuteen on 1,2.

7.3.5 Projekti 5

Projekti 5 on samankaltainen, kuin projekti 3, mutta kooltaan hieman suurempi. Putkimäärä on 170 m ja osamäärä 355 kpl, mikä on 60 m ja 55 kpl enemmän, kuin projektissa 3. Putkiosien määrä metriä kohden on puolestaan lähes sama näissä kahdessa projektissa. Tämä on toinen kahdesta itse suunnittelemastani projektista, joten suunnittelun kulku ja yksityiskohdat ovat hyvin tiedossa. Myös tämän projektin aikana on tapahtunut oppimista, erityisesti valmistuspiirustusten osalta. Tähän vaikutti se, että projektien 4 ja 5 suunnitteluvaiheet menivät ajallisesti limittäin ja tämä myöhemmin suunniteltu projekti toteutettiin ensimmäisenä. Näin ollen varsinkin työpiirustuksiin liittyvä palaute kentältä ja käytännön kautta oppiminen koskettivat etenkin vertailuprojektia 5.

7.4 Tehokkuusvertailu

Suunnittelumenetelmien tehokkuus, eli kuinka paljon putkistoa saadaan suunniteltua aikayksikössä, on yritystoiminnan kannalta merkittävä asia. Lisäksi merkitystä on menetelmistä aiheutuvista kuluista. PDMS-ohjelman käyttökulut ovat korkeampia, kuin AutoCAD-ohjelman, joten 3D-suunnittelun on oltava vähintään kalliimpien lisenssikulujen verran tehokkaampaa.

Tehokkuus kertoo, paljonko työtä tehdään aikayksikköä kohden. Projektien putkistosuunnittelun tehokkuuden määrittämiseksi täytyy siis jotenkin määritellä työ, joka tässä tapauksessa on putkiston suunnittelu. Lisäksi on määriteltävä työhön kulunut aika.

7.4.1 Putkiston määrittely

Ongelmallisinta suunnittelun tehokkuutta arvioitaessa on suunnittelusaavutuksen määrittely. Putkistolle asetetut vaatimukset vaikuttavat suunnittelunopeuteen, mistä syystä suunnitteluun kuluvaan aikaan ei voida arvioida pelkän putkiston pituuden perusteella. Putkiston monimutkaisuus, eli siis käyrien, t-haarojen, supistusten, liittimien, laippojen, venttiilien ja muiden putkiosien määrä suhteessa putkiston pituuteen, on kaikkein merkittävin ominaisuus suunnitteluajan kannalta. Esimerkiksi PDMS-ohjelmassa haetaan oikean spesifikaation mukainen komponentti luettelosta ja asetellaan se sitten järkevälle paikalle putkistossa. Eri putkiosien suunnitteluajoissa on eroja johtuen niiden liitostyypeistä, asento- ja kannakointivaatimuksista. Periaatteessa tarkin tulos saataisiin määrittämällä jokaiselle putkiosalle keskimääräinen suunnittelu-aika, jolloin voitaisiin putkiston osaluettelon perusteella laskea, kuinka paljon keskimäärin kyseisen putkiston suunnitteluun pitäisi mennä aikaa. Osakohtaisten suunnittelu-aikojen määrittäminen vaatisi kuitenkin huomattavasti aikaa ja vaivaa.

Toisaalta myös suoran putken suunnitteluun menee aikaa. Esimerkiksi pitkälle suoralle putkiosuudelle pitää kuitenkin suunnitella paras mahdollinen paikka ja varmistaa, ettei linja törmää mihinkään. Toisinaan putkilinjojen sijainnin pohdiskelu voi yksinkertaistaa linjoja, ja putkikäyrien määrä vähenee. Tällaiseen suunnitteluun kuluu aikaa, vaikka putken osien määrä ei lisäännä, joten myös suoran putken suunnittelulle on laskettava tunteja.

Muita putkiston suunnitteluun kuluvaan aikaan vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi putkikoko, virtaava-aine, lämpöliikkeet ja hygieenisuus. Näitä tekijöitä voitaisiin ehkä arvioida painokertoimilla, mutta kertoimien määrittäminen olisi harkittava tarkkaan. Kaikkein vaikein arvioitava tekijä on ympäristö, joka olemassa oleviin tuotantolaitoksiin suunniteltaessa vaihtelee kaikissa projekteissa ja myös projektien sisällä alueittain.

Tässä vertailussa on päädytty käyttämään putkiston pituutta ja putkiosien määrää. Muiden tietojen käyttäminen johtaisi monimutkaiseen tiedon keruuseen ja laskentaan, joka ei tämän opinnäytetyön puitteissa ole mahdollista. Lisäksi yksinkertaista määrittelyä puoltaa se, että nämä tiedot ovat hyvin saatavissa myös vanhoille projekteille, mikä on tärkeä asia uusien ja vanhojen projektien keskinäisen vertailun kannalta.

7.4.2 Teoreettinen suunnittelu-aika

Putkisto päätettiin siis määrittää pituuden ja osien määrän perusteella. Määrittelytavan taustalla on ajatus siitä, että jokaisen putkiosan ja putkimetrin suunnitteluun kuluu tietty aika, ja suunnitteluun kokonaisuudessaan kuluu näiden aikojen summa. Tällaisen ajattelutavan johdosta voidaan laskea putkistolle eräänlainen teoreettinen suunnittelu-aika. Tätä teoreettista aikaa voidaan sitten verrata todelliseen aikaan ja saada näin vertailuprojektien tehokkuuseroja esille. Tässä tavassa on myös mahdollisuus tarkentaa teoreettisen suunnitteluajan määrittelyä ottamalla huomioon erilaisia putkiston ominaisuuksia. Lisäksi ajatusta olisi ehkä mahdollista hyödyntää putkistosuunnittelun tuntiarviota laadittaessa. Vertailussa käytetty teoreettinen suunnittelu-aika on laskettu yhtälön 1 mukaisesti. Vertailuprojektien putkistojen pituudet, putkiosien määrät, todellinen suunnittelu-aika sekä lasketut teoreettiset suunnitteluajat on esitetty taulukossa 1.

$$t_{teor} = 0,5 \frac{h}{m} \cdot L + 0,5h \cdot N \quad (1)$$

L = putkiston pituus [m]

N = putkiosien lukumäärä

TAULUKKO 1. Putkistojen teoreettinen ja todellinen suunnittelu-aika

Projekti	L (m)	N (kpl)	t_{teor} (h)	t_{tod} (h)
1	68	245	157	180
2	233	55	144	650
3	110	300	205	390
4	180	220	200	210
5	170	355	263	430
Keskiarvo	152	235	194	372

Vertailuprojektien putkistojen pituudet ja osamäärät vaihtelevat siten, että toisissa projekteissa on paljon osia ja vähän putkea, ja toisissa taas päinvastoin. Koska vaihtelut ovat suunnilleen samaa suuruusluokkaa molemmissa tapauksissa, järkevimmältä tuntuu pitää osamäärää ja pituutta samanarvoisina, kuten yhtälössä 1 on tehty. Karkeana ajatuksena on siis, että yhden putkiosan suunnitteluun menee yhtä paljon aikaa, kuin yhden metrin suunnitteluun. Käytännössä voidaan olettaa, että yhden metrin suunnittelu vie puolituntia ja yhden putkiosan suunnittelu myös puolituntia. Näin saadaan lukuarvoltaan samaa luokkaa olevia tuntimääriä, kuin mitä todelliset tuntimäärät ovat (taulukko 1). Tämän teoreettisen suunnitteluajan suhdetta todelliseen suunnittelu-aikaan voidaan verrata eri projektien kesken. Tällöin nähdään, missä projekteissa suunnitteluun on mennyt putkiston ominaisuuksien perusteella arvioitua määrää vähemmän aikaa, ja missä enemmän. Suunnitteluajan arvio on kaikille putkistoille yhdenmukainen, joten tulokset mahdollistavat projektien keskinäisen vertailun, vaikka arvio ei olisikaan yleisellä tasolla täysin tarkka.

7.4.3 Todellinen suunnittelu-aika

Todellinen suunnittelu-aika on laskettu projektien työajanseurantajärjestelmästä saatujen tuntikulutusten mukaan. Projektien tunnit on kirjattu vaihtelevalla jaottelulla eri tehtäville. Esimerkiksi vertailuprojektissa 1 on vain kaksi eri tehtävää, joille mekaanisen suunnittelun tunteja on kirjattu. Toisaalta projektissa 5 tunteja on kirjattu lähes kymmenelle eri tehtävälle. Tämän vuoksi vertailu täytyy tehdä epätarkimman jaottelun mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelu-aikaan on laskettu mukaan tunnit, jotka on kirjattu putkistosuunnitteluun, putkisto piirustuksien tekemiseen, kannakesuunnitteluun, layout-suunnitteluun, säiliösuunnitteluun, laitemallinnukseen, rakennusmallinnukseen ja 3D-järjestelmän ylläpitoon.

Kokonaisuuden kannalta kaikki edellä mainitut tehtävät voidaan aivan hyvin niputtaa saman suunnitteluajan alle, sillä näihin kaikkiin tehtäviin käytetään 3D-suunnittelussa pääosin PDMS-ohjelmaa. Joissakin tehtävissä tosin käytetään 3D-suunnittelussakin apuna AutoCAD-ohjelmaa. Toisaalta tehokkuutta on hyvä vertailla kokonaisuutena, koska käytännössä kyse on kuitenkin siitä, millä menetelmillä työ saadaan tehtyä tehokkaimmin alusta loppuun.

7.4.4 Suhteellinen tehokkuus

Suunnittelun tehokkuus määritetään tässä tapauksessa suhdelukuna vertaamalla teoreettista suunnitteluajaa todelliseen. Tällä tavoin ei tosin saada tehokkuudelle varsinaista absoluuttista arvoa, joka kertoisi, paljonko putkistoa suunnitellaan tunnissa. Absoluuttisen arvon määrittäminen vaatisi monimutkaisempaa määrittelyä putkistolle. Toisaalta tarkoitus onkin vain vertailla projektien tehokkuutta, eikä absoluuttisella tehokkuudella siinä ole merkitystä. Suhteellisen tehokkuuden laskutapa on esitetty yhtälössä 2.

$$P_{suht} = \frac{t_{teor}}{t_{tod}} \quad (2)$$

t_{teor} = teoreettinen suunnittelu aika [h]

t_{tod} = todellinen suunnittelu aika [h]

TAULUKKO 2. Projektien suhteelliset tehokkuudet

Projekti	t_{teor} (h)	t_{tod} (h)	P_{suht}	P_{suht}
1	157	180	0,87	91 %
2	144	650	0,22	23 %
3	205	390	0,53	55 %
4	200	210	0,95	100 %
5	263	430	0,61	64 %
Keskiarvo	194	372	0,64	67 %

Taulukossa 2 on esitetty projektien suunnitteluajat sekä niistä lasketut tehokkuuden suhdeluvut. Projekteille on laskettu vertailun helpottamiseksi myös tehokkuus prosentteina suurimmasta suhdeluvusta.

7.4.5 Virhetarkastelu

Suhteellisen tehokkuuden virheeseen vaikuttavat putkiston ominaisuuksissa, eli putkiston pituudessa ja putkiosien määrässä olevat virheet sekä todellisessa suunnitteluajassa olevat virheet. Suunnitellun putkiston pituus ja osien määrä on saatu projektien materiaalistuksista. Periaatteessa ne edustavat tarkasti nimenomaan suunniteltua putkistoa.

Putkiston ominaisuuksissa ja suunnitteluajassa olevien virheiden suuruutta ei voi luotettavasti arvioida. Lisäksi niiden suuruusluokka on todennäköisesti vähäinen verrattuna teoreettisen suunnitteluajan laskennassa tapahtuvaan virheeseen. Taulukossa 3 on esitetty eri tavoilla lasketun teoreettisen suunnitteluajan vaikutukset suhteelliseen tehokkuuteen. Ensimmäisessä sarakkeessa on käytetty yhden putkimetrin ja yhden putkiosan suunnitteluajana puolta tuntia. Toisessa sarakkeessa metrin suunnittelu aika on tunti ja osan puolituntia. Kolmannessa sarakkeessa ajat ovat päinvastoin. Taulukosta nähdään, että suurin hajonta näiden laskutapojen välillä on 45 %. Jo pelkästä laskutavasta johtuvaa virhettä voidaan näin ollen pitää varsin merkittävänä.

TAULUKKO 3. Laskentatavan vaikutus suhteelliseen tehokkuuteen

Pituuden ja putkiosien suhde	0,5h + 0,5h	1h + 0,5h	0,5h + 1h	Hajonta	Hajonta
Projekti	P _{suht}	P _{suht}	P _{suht}		
1	0,87	1,06	1,55	0,68	44 %
2	0,22	0,40	0,26	0,18	45 %
3	0,53	0,67	0,91	0,38	42 %
4	0,95	1,38	1,48	0,53	36 %
5	0,61	0,81	1,02	0,41	40 %

Liitteessä 3 on esitetty viisi erilaista laskutapaa teoreettiselle suunnitteluajalle, sekä projektien tehokkuusjärjestys näillä tavoilla. Liitteestä nähdään, että projektien välinen tehokkuusjärjestys on eri, mikäli käytetään ajan määrittämiseen pelkästään putkiston pituutta tai putkiston osien määrää. Vastaavasti kahdella laskutavalla, joissa nämä molemmat ominaisuudet huomioidaan, pysyy myös projektien järjestys samana. Kolmannessa laskutavassa, jossa huomioidaan sekä pituus että osien määrä, järjestys vaihtuu, mutta hyvin pienellä erolla. Tämä nähdään myös taulukosta 3. Tästä voidaan päätellä, että otettaessa huomioon sekä putkiston pituus, että osien määrä, voidaan projektien välisiä tehokkuuksia vertailla ainakin jonkinlaisella tarkkuudella.

7.4.6 Tehokkuuksien tarkastelu

Projektien putkistojen tiedot, sekä suhteellinen tehokkuus on koottu taulukkoon 2. Lisäksi taulukkoon on laskettu suhteellinen tehokkuus prosentteina tehokkaimmasta projektista. Prosenttiluvusta käyvät selkeimmin ilmi projektien väliset erot. Kuten virhetarkastelussa todettiin, hieman erilaisilla laskutavoilla projektien tehokkuusjärjestys säilyy lähes samana, mutta niiden väliset erot vaihtelevat suurimmillaan 45 % verran. Tämän vuoksi tehokkuuksista ei voida vetää kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Tehokkuusjärjestykselle voidaan kuitenkin antaa hieman painoarvoa, koska se säilyy kahta tehokkainta projektia lukuun ottamatta samana kaikilla eri laskutavoilla.

Taulukosta 2 nähdään projektin 4, olevan vertailuprojekteista tehokkaimmin suunniteltu. Projektin 4 suhteellinen tehokkuus on 0,95, kun taas kaikkien projektien suhteellisen tehokkuuden keskiarvo on 0,64. Seuraavaksi tehokkainta suunnittelu on ollut 2D-menetelmällä tehdyssä projektissa 1, jonka suhteellinen tehokkuus on 0,87. 3D-suunniteltujen projektien tehokkuuden keskiarvo on 0,58, mikä on hieman vajaat 70 % projektin 1 tehokkuudesta. Projektin 1 tehokkuutta on lisännyt se, että putkistoon ei ole kohdistunut hygieniavaatimuksia, eikä siitä ole tarvinnut piirtää putki-isometrejä. Kokemuseräisesti on arvioitu, että hygieenisen putkiston suunnitteluun menee kaksi kertaa enemmän aikaa verrattuna tavalliseen putkistoon. Tämä huomioituna projektin 1 tehokkuus olisi jonkin verran pienempi, kuin 3D-suunniteltujen projektien keskimääräinen tehokkuus.

Isometrit ovat aikaa vieviä piirtää 2D menetelmällä, joten tässä tapauksessa jää arvoitukseksi, olisiko ero 3D-menetelmällä tehtyihin putkisoihin kuinka suuri, jos projektissa 1 olisi piirretty myös isometriset putkikuvat. Koska ero 2D- ja 3D-menetelmällä suunniteltujen projektien välillä on näin pieni, voidaan olettaa, että mikäli putki-isometrejä tarvitaan, niin 3D-suunnittelu on tehokkaampaa. Tätä tulkintaa tukee 3D-ohjelman mahdollistama automaattinen isometriä tuottotapa.

Tarkasteltaessa 3D-suunniteltujen projektien tehokkuuksia keskenään, huomataan, että ne ovat nousujohteisia lukuun ottamatta projektia 5, joka on tehty limittäin projektin 4 kanssa. Projekti 2 on ensimmäinen 3D-suunniteltu projekti ja sisältää PDMS-mallin perustamisen. Lisäksi projektissa oli hankaluuksia lähtötietojen kanssa. Nämä seikat näkyvät myös suhteellisessa tehokkuudessa. Projekti 3 onkin päästy tekemään jo val-

miiksi perustettuun malliin, joten sen tehokkuus on yli kaksinkertainen ensimmäiseen 3D-suunnitteluun verrattuna. Tässä projektissa on ollut vaativia ja monimutkaisia elintarvikeputkistoja, joiden suunnittelua ovat koskeneet tiukat hygieniavaatimukset. Lisäksi putkistojen suunnittelussa on jouduttu huomioimaan steriloinnista johtuvia lämpöliikkeitä. Nämä asiat selittävät 2D-suunnittelua alhaisempaa tehokkuutta. Projektin suunnittelija on kokenut PDMS-ohjelman käyttäjä ja projektin kulku on ollut tavanomainen.

Projektit 4 ja 5 tunnen itse parhaiten, koska olen toiminut putkistosuunnittelijana molemmissa. Näistä kahdesta projektin 4 suhteellinen tehokkuus on selkeästi parempi. Tämä on hieman hämmästyttävää, sillä projektin 4 putkisto on ensimmäinen täysin itse mallintamani putkisto, joten mielestäni siihen sisältyy vielä oppimista ja tästä syystä putkiston mallinnuksen olisi pitänyt olla nopeampaa projektissa 5. Eroa ehkä selittää se, että projektin 5 työkuvat tehtiin ensin, mihin sisältyi myös huomattava määrä oppimista. Näin ollen projektin 4 työkuviin piirtäminen oli tehokkaampaa. Lisäksi projektin 4 työkuvilla oli kiireellinen aikataulu, mikä saattoi nopeuttaa työntekoa.

Putkiston ominaisuuksien osalta projekti 5 oli jonkin verran monimutkaisempi, kuin projekti 4. Molempien projektien putkistoille oli asetettu hygieenisen putkiston vaatimuksia, mutta projektissa 5 oli enemmän virtaavia aineita, sekä vanhan putkiston lyhyitä muutoksia, joiden suunnitteluun kului aikaa, vaikka niiden pituuden olivat pieniä. Lisäksi projektin 5 suunnittelussa piti huomioida putkiston steriloinnista johtuvat lämpöliikkeet, joita taas ei esiintynyt projektissa 4. Näiden seikkojen valossa tuloksiksi saadut tehokkuudet ovat järkeviä suhteessa suunniteltuihin putkistoihin ja projektien kulkuun.

7.5 Käyttökustannusten vertailu

Suunnitteluohjelmien välittömiä käyttökustannuksia ovat lisenssikulut. Periaatteessa käyttökustannuksissa voisi huomioida esimerkiksi käyttäjäkoulutuksesta ja ohjelmien ylläpidosta koituvia kuluja. AutoCAD- ja PDMS-ohjelmien koulutustarvetta mietittäessä voisi nähdä koulutuksen merkittävämpänä asiana PDMS-ohjelman käytössä, johtuen sen monipuolisista ominaisuuksista. Koulutuksen ja ylläpidon kustannuksien vertaaminen luotettavasti vaatisi kuitenkin tietoja niin pitkältä ajalta, että siihen ei oteta kantaa tässä työssä.

7.5.1 Lisenssikustannukset

PDMS-ohjelman lisenssi saadaan käyttöön Pöyryn yhteiseltä lisenssiserveriltä, jonka avulla lisenssien käyttöä saadaan tehostettua. Yhteisien lisenssien käyttö ja suunnittelun tuntihinnan vaihtelu huomioiden lisenssin hinta on tavallisesti 7 - 15 % tuntiveloituksesta. Korkeimmillaan kustannus voi kuitenkin olla jopa 20 % tuntiveloituksesta, mikäli joudutaan ottamaan kiinteä lisenssi koko kuukaudeksi ja ohjelman käyttöaste ei ole riittävän korkea. (Lohko 2015.)

AutoCAD-ohjelman lisenssi on puolestaan sisällytetty yrityksen kiinteisiin kustannuksiin. Lisäksi samaan lisenssiin kuuluu liuta muita Autodeskin ohjelmia, joten pelkän AutoCAD:in kustannusta on vaikea arvioida. Sitä paitsi tämän hetkisessä 3D-suunnittelumenettelyssä tarvitaan yhä myös AutoCAD-ohjelmaa PDMS-ohjelman apuvälineenä. Tämän vuoksi voidaan käyttökustannusten vertailussa todeta, että PDMS-ohjelman lisenssikulu on suoraan ero 2D- ja 3D-menetelmien kustannuksissa.

3D-suunnittelun kustannukset ovat siis normaalitilanteessa noin 10 % korkeammat, kuin 2D-suunnittelun. Näin ollen 3D-suunnittelun pitäisi olla myös 10 % tehokkaampaa, jotta päästäisiin samaan suunnittelun kokonaiskustannukseen. Asia on syytä pitää mielessä menetelmien tehokkuuksia vertaillessa.

8 SUUNNITTELUOHJELMAN VALINTA

Tämän työn edetessä ja uusien suunnitteluprojektien neuvotteluja seuratessa, kehittyi ajatus tässä työssä kerättyjen, suunnittelumenetelmän valintaan vaikuttavien, asioiden kokoamisesta helposti ymmärrettävään muotoon. Pitkällisen pohdinnan tuloksena syntyi suunnittelumenetelmän valintakuva, joka on esitetty liitteessä 4.

Suunnittelumenetelmien eroja ja hyötyjä pohdittaessa kävi nopeasti ilmi asiaan vaikuttavien seikkojen monitahoisuus. Lisäksi joidenkin asioiden, esimerkiksi putkikoon vaikutusta jommankumman menetelmän paremmuuteen on vaikea nähdä, mutta jos lisäksi putkistossa on kallistuksia, niin 3D-menetelmän avulla saavutetaan joitakin etuja. Kokonaisuutta on vaikea hahmottaa ja menetelmien etujen perusteet on mietittävä tarkasti. Lisäksi useat näistä asioista ovat hankalasti tutkittavissa, joten päätelmissä on tukeuduttava kokemukseen ja mielipiteisiin. Vaikka asiaa leimaa hienoinen epämääräisyys, voidaan silti todeta kaksi selkeää asiaa jotka määrittävät suunnittelumenetelmän valintaa.

Ensimmäinen merkittävä tekijä on asiakas. Asiakkaan toimintatavoista, ja tarpeista riippuu paljon, koituuko 3D-suunnittelun ominaisuuksista lisäarvoa projektille. Esimerkiksi runsaaseen suunnitelmien katselmoinnin tarpeeseen on hyvä vastata 3D-mallin avulla. Toinen vaikuttava tekijä on suunnittelija. Harvat suunnittelijat osaavat käyttää sujuvasti molempia suunnittelumenetelmiä. Etenkin jos ajatellaan kokenutta suunnittelijaa, jonka tehokkuus on hioutunut huippuunsa. Suunnitteluohjelman ominaisuuksien tehokas hyödyntäminen on tällaisessa tapauksessa ehdoton edellytys ja kahden ohjelman näin hyvä hallitseminen on erittäin vaikeaa.

Näistä seikoista suunnittelija on ehdottomampi. Suunnittelijan kannattaa suunnitella sillä ohjelmalla, jota hän parhaiten osaa käyttää, ellei sitten kysymykseen tule pitkän aikaa kestävä uuden suunnitteluohjelman opettelu. Toisaalta, jos asiakkaalla on vankka näkemys tai vaikkapa konsernin yhteinen käytäntö tietyn menetelmän käytöstä, niin silloin on syytä valita projektin suunnittelijaksi sellainen henkilö, joka taitaa halutun menetelmän käytön. Jos taas asiakkaalla ei ole erityistä syytä kummankaan menetelmän käyttöön, voidaan valintaa miettiä seuraavissa kappaleissa esitettyjen valintakuvan pääkohtien perusteella.

8.1 Lähtötiedot

Lähtötietojen suhteen menetelmien edut ovat aika selkeät. Mikäli mitoituksen lähtötietona on laserkeilaus, on kannattavaa käyttää 3D-menetelmää, koska 3D-mallin voi yhdistää keilattuun pintaverkkomalliin, minkä jälkeen mitoitus on tarkempaa ja helpompaa.

Jos taas suunnittelukohteesta ei ole vielä tehty laserkeilausta, mutta siitä on olemassa hyvät taso- ja leikkauspiirustukset, on lähtökohta otollinen 2D-suunnittelulle. Toki tällöinkin voitaisiin putkisto mallintaa 3D-ohjelmalla ja putkiston leikkauskuvat sitten siirtää 2D-pohjiin, mutta mitoitus on tällöin hieman hankalampaa kahden eri ohjelman välillä.

Mikäli kohteesta ei ole olemassa mitään dokumentaatiota, ei tilanteessa ole suurta eroa kummankaan menetelmän hyväksi. Tällöin on luonnollisesti ajateltava kokonaisuutta ja mahdollista suunnittelutoiminnan jatkumista, kun tehdään päätöstä, kumpaa menetelmää halutaan käyttää. 2D-menetelmän eduksi voidaan todeta, että jos kohde on laaja ja sisältää pieniä yksityiskohtia ja esimerkiksi paksuja putkikerroksia, voi tarpeeksi tarkka ja kattava laserkeilaus tulla käsin tehtäviä kenttämittauksia kalliimmaksi, mikäli kohteeseen ei ole tiedossa jatkuvaa suunnittelua.

8.2 Isometrien tarve

Mitä suuremmasta osasta putkistoa tarvitaan putki-isometrit, sitä kannattavammasi käy 3D-suunnittelu. Isometrien tekeminen ja päivittäminen sujuu 3D-menetelmällä selvästi nopeammin, kuin 2D-menetelmällä. Putken valmistuspiirustuksena voivat toimia myös täydellisesti mitoitettut taso- ja leikkauskuvat, mutta 3D-ohjelmalla luotu isometri on niihinkin verrattuna nopeampi, joskaan ei välttämättä yhtä havainnollinen, koska tavanomaisessa isometrissä ei näy putken ympäristöä.

Ehdottomimman isometrien tarpeen aiheuttaa lainsäädäntö. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen (938/1999) mukaisten luokkien I-III putkistoista pitää olla olemassa valmistuspiirustukset. Myös asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varas-

toinnin turvallisuusvaatimuksista (856/2012) edellyttää valmistuspiirustuksia, mikäli putkiston virtaava-aine on vaaralliseksi luokiteltu kemikaali.

Toinen selkeän tarpeen valmistuspiirustuksille tekevä seikka on esivalmistustarve. Mikäli tuotantolaitteiston seisakki on niin lyhyt, ettei putkia ehditä mitoittamaan ja valmistamaan paikan päällä, tarvitaan sellaiset piirustukset, joiden perusteella putket voidaan valmistaa etukäteen. Putkien tekeminen verastosolosuhteissa voi kiireettömissäkin asennustilanteissa nopeuttaa ja helpottaa valmistusta, tai parantaa putkien laatua.

Kolmas, ei niin selkeästi hahmotettava, isometrien tarvetta lisäävä putkistonominaisuus on kallistukset ja niistä aiheutuvat avaruuskulmat. Asialla on merkitystä etenkin suuremmilla putkilla, jolloin käyristä joudutaan leikkaamaan merkittävän kokoisia kappaleita oikean kulman saavuttamiseksi. 3D-suunnittelussa on nimenomaan tällaisen putkiston suunnitteluun muutamia hyviä apuvälineitä. Esimerkiksi putkikäyrät voi sovittaa yhdellä komennolla toisiinsa, vaikka putket olisivat toisiinsa nähden eri kulmissa useissa suunnissa. Lisäksi putki-isometreissä käytetty mitoitus on esitystapana hyvä tällaisille putkille.

8.3 Suunnittelun suuruusluokka

Tässä työssä 3D-suunnitteluohjelmaa edustava AVEVA PDMS on tarkoitettu erityisesti suuriin suunnitteluprojekteihin, joissa voi työskennellä samanaikaisesti useita suunnittelijoita. Ohjelman useat ominaisuudet tukevat suunnittelua ja erityisesti projektin seuranta mittakaavan kasvaessa. 2D-suunnittelu toimii vielä hyvin 2-4 suunnittelijan voimin tehtävissä projekteissa, mutta mitä enemmän suunnittelijoita on, sitä enemmän hyötyä 3D-järjestelmän käytöstä olisi. Samoin on projektin seurannan tarpeen kanssa. Mitä tiheämmällä aikavälillä projektia tarvitsee seurata, sitä enemmän on etua 3D-järjestelmästä.

8.4 Toimintatavat

Neljäs suunnittelumenetelmän valinnassa merkitykselliseksi koettu asia on asiakkaan toimintatavat. Jos halutaan käyttää mahdollisimman tehokasta suunnittelutapaa, tinkiä

dokumentoinnista ja lähtötietona on hyvälaatuisia taso- ja leikkauskuvia, päästään 2D-suunnitteluohjelmalla todennäköisesti haluttuun tulokseen sen keveytensä ansiosta. Mitä kevyempi dokumentointi suunnittelusta riittää, sitä tehokkaampaa on 2D-suunnittelu.

Jos putkistourakka lisäksi toteutetaan yksikköhinnoilla ja annetaan putkiston suunnittelussa vastuuta myös putkiston valmistajalle, saadaan 2D-suunnittelulla nopeammin riittävän hyvätasoisia kuvia valmistusta varten. Näin putkiston valmistus päästään aloittamaan aikaisemmin. Työn edetessä suunnittelu ja valmistus voivat edetä samanaikaisesti, jos suunnittelijan ja putkiasentajien työvauhti ovat lähellä toisiaan ja suunnittelija ehtii tehdä lisää työpiirustuksia samaa tahtia, kuin ensin suunnitellut valmistuvat.

Kyseinen toimintapa edellyttää suunnittelussa lähipalvelua, koska asiakkaan ja urakoitsijan kanssa on oltava tiiviissä yhteistyössä. Toisaalta, mitä kauempana suunniteltava kohde on suunnittelijasta, sitä enemmän saadaan hyötyjä 3D-menetelmästä ja laserkeilauksen käytöstä.

8.5 3D-mallin lisäarvo

Kolmiulotteisen mallin hyöty on sen helppossa hahmottamisessa. Myös sellaiset ihmiset, jotka eivät ole tottuneet lukemaan taso- ja leikkauskuvia, hahmottavat yleensä hyvin 3D-mallia. Toisaalta myös päivittäin työssään piirustuksia lukevat henkilöt saavat hankkeesta erittäin nopeasti tarkan kokonaiskuvan 3D-mallin avulla.

Varsin käyttökelpoinen ominaisuus 3D-mallissa on suunnitelmien katselmoinnit asiakkaan kanssa. Koska mallinnustyö on kohtuullisen nopeaa ja etenkin 3D-mallin generoiminen helposti käsiteltävään ja jaeltavaan tiedostomuotoon melko vaivatonta, voidaan suunnitelmia katselmoida asiakkaan kanssa tarpeen vaatiessa lyhyelläkin aikavälillä. Näin päästään suunnittelussa oikeille urille jo varhaisessa vaiheessa, eikä työtä ole kulunut turhaan vain katselmointia varten tehtyihin putkisijoituspiirustuksiin, jotka mahdollisesti tulevat muuttumaan huomattavasti. Lopulliset valmistuspiirustukset voidaankin tehdä katselmoidusta ja hyväksytystä 3D-mallista, jolloin piirustuksiin tulevat muutokset jäävät mahdollisimman vähäisiksi.

Malli on jatkossakin hyödyllinen tavanomaisten piirustuksen lisänä, sillä siitä voi ottaa luotettavia mittoja. Erityisen käyttökelpoinen on laserkeilauksen tuloksena saatuun pintaverkkomalliin yhdistetty putkiston 3D-malli, jolloin voidaan putken suunnitelmien mukainen sijainti mitata mistä tahansa laserkeilausta tehtäessä olemassa olleesta rakenteesta. Jos tällainen malli on käytettävissä putkistourakoitsijalla tai asennusvalvojalla, voidaan piirustuksesta puuttuva mitta käydä katsomassa tietokoneelta. 3D-malli on asennusvalvojalle muutenkin hyvä apuväline, sillä sen avulla pääsee nopeasti yleiskäsitykseen hankkeesta, jolloin putki-isometrien sekä muiden työpiirustusten lukeminen nopeutuu.

8.6 Pitkän aikavälin valintapolitiikka

Konsultin tehtävä on ajaa asiakkaan etua. Tämän voi ymmärtää suunnitteluohjelmaa valittaessa niin, että käyttöön halutaan sellainen ohjelma, jonka avulla asiakas saa tarvitsemansa mahdollisimman edullisesti ja nopeasti sekä saa tilaamastaan suunnittelusta mahdollisimman paljon lisäarvoa. Suunnittelun tehokkuuteen vaikuttavat asiat riippuvat kuitenkin siitä miltä tasolta asiaa katsotaan.

Yksittäisen työtehtävän kannalta merkittävää on suunnittelijan taito käyttää ohjelmaa, ohjelman sopivuus kyseiseen suunnittelutehtävään ja ohjelman käytöstä koituvien kustannusten suuruus. Kun taas katsotaan tilannetta hieman kauempaa, ovat samat kriteerit edelleen tärkeitä, mutta niiden painoarvo on erilainen. Edelleen suunnittelijan ohjelmankäyttötaito on merkittävä asia, mutta pitemmällä aikavälillä voidaan olettaa, että suunnittelija oppii käyttämään valittua ohjelmaa, vaikka aloitushetkellä osaaminen ei olisikaan paras mahdollinen.

Myös ohjelman sopivuus suunnittelutehtäviin on merkityksellistä, mutta laajemmin katsoessa voi olla järkevää tehdä tässä asiassa kompromisseja. Todennäköisesti on nimittäin tehokkaampaa käyttää sellaista ohjelmaa, jonka käytön suunnittelija osaa hyvin ja jota hän on tottunut käyttämään päivittäin, vaikka se ei täydellisesti soveltuisikaan aivan kaikkiin suunnittelutehtäviin. Nimittäin uuden ohjelman opettelu on aikaa vievää ja siten kannattamatonta yksittäisen pienen suunnittelutehtävän vuoksi. Lisäksi harvoin eteen tulevien suunnittelutehtävien kohdalla käy niin, että vaikka tapaukseen parhaiten

sopivaa ohjelmaa olisi opeteltu käyttämään, voi seuraavaan käyttökertaan mennä niin pitkä aika, että ohjelman käyttö on ehtinyt unohtua.

Ohjelma olisi siis valittava siten, että se sopii hyvin niihin suunnittelutehtäviin, joita tehdään eniten. Ohjelman lisensseistä koituvia käyttökustannuksia on kaikilla tasoilla helppo arvioida, tosin jos joudutaan kuitenkin käyttämään useita eri ohjelmia, tilanne hieman mutkistuu. Tässäkin mielessä yhden ohjelman käyttö olisi yksinkertaisempaa ja tulisi todennäköisesti edullisemmaksi, kun lisenssitarve olisi paremmin tiedossa, eikä kalliita yksittäisiä lisenssejä tarvitsisi käyttää.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työssä päädyttiin vertailemaan suunnitteluohjelmien suorien kustannusten sijaan niiden tehokkuutta. Näin pyrittiin löytämään kokonaisvaltaisesti tehokkuuseroja menetelmien väliltä ja sitä kautta vaikutusta suunnitteluprojektin kustannuksiin. Tehokkuusvertailussa havaittiin, että käytetyllä laskentatavalla tuloksiin vaikuttaa merkittävästi se, miten suunnitellun putkiston laajuus määritellään. Vaikka tuloksien hajonta on melko suuri, ovat projektien keskinäiset tehokkuuserot kuitenkin järkeviä ja selitettävissä eroavaisuuksilla projektien suunnittelussa. Itse ohjelmien tehokkuudesta ei kuitenkaan vertailun perusteella voida luotettavasti sanoa mitään, koska vertailun otanta on liian pieni.

Tehokkuusvertailua voitaisiin kuitenkin soveltaa jatkossa 3D-suunnittelun seurantaan ja näin havaita esimerkiksi koulutuksien vaikutuksia ohjelman käytön tehokkuuteen. Vertailua 2D-menetelmään olisi myös mahdollista jatkaa laskemalla sellaisien jo tehtyjen projektien tehokkuuksia, joiden tekotapa tunnetaan hyvin ja joiden dokumentaatio on vastaava 3D-suunniteltujen projektien kanssa. Vertailun laatua voisi parantaa tehokkuuden laskentatapaa kehittämällä. Se olisi mahdollista, joko tarkentamalla putkistomäärittelyä, tai kasvattamalla vertailuprojektien määrää. Näistä vertailun otannan kasvattaminen johtaa todennäköisesti helpommin parempaan tulokseen.

Vertailun tekeminen ja suunnitteluohjelmien käyttö jokapäiväisessä työssä antoivat hyvät valmiudet miettiä, mitkä asiat ovat tärkeitä menetelmän valinnassa. 2D- ja 3D-menetelmien vahvuuksista ja heikkouksista käytiin työn ohessa lukuisia keskusteluita. Erityisesti aihepiiriä pohdittiin Heikki Peltosen kanssa ja huomattiin sen olevan melko vaikea hahmottaa. Selkeimpänä etuna 3D-suunnittelussa nähtiin putkistoisometrien nopea piirtäminen ja PDMS-ohjelman ominaisuuksien käyttökelpoisuus suurissa projekteissa. Perinteisen 2D-suunnittelun käyttö puolestaan nähtiin järkevänä sellaisessa lähi-palvelutoiminnassa, jossa riittää kevyt dokumentointi. Ohjelman valintaan vaikuttavat myös saatavilla olevat lähtötiedot. Nämä pohdintojen tulokset, joille löydettiin selkeä peruste menetelmien ominaisuuksista ja toimintatavoista, on koottu liitteessä 4 esitettyyn valintakuvaan. Valintakuva on tarkoitus kuvata visuaalisesti ja mahdollisimman yksinkertaisesti suunnittelumenetelmän valintaan vaikuttavien asioiden luonnetta.

LÄHTEET

AVEVA Group Oyj. 2015. AVEVA PDMS. Tulostettu 18.11.2015.

Hätinen, T. vanhempi suunnittelija. 2015. Keskustelu 11.5.2015. Pöyry Finland Oy. Jämsä.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista. 1999/938.

Lohko, N. toimistopäällikkö. 2014. Perehdytys 16.12.2014. Pöyry Finland Oy. Jämsä.

Peltonen, H. vanhempi suunnittelija. 2015. Keskustelut 1.1.2015 - 1.11.2015. Pöyry Finland Oy. Jämsä.

Profox Companies Oy. 2015. CADMill Mechanic -mekaniikka- ja laitossuunnittelu. Luettu 7.9.2015. <http://www.profox.com/#!cadmillmechanic/c1hz5>

PSK Standardisointiyhdistys ry. 2003. PSK 5803. Putkistopiirustukset. Isometrinen piirustus. 3. painos.

Pöyry Oyj. 2015. Fact sheet. Luettu 26.4.2015.
<http://www.poyry.com/investors>

Pöyry Oyj. 2015. Our sectors. Luettu 22.4.2015.
<http://www.poyry.com/sectors>

Pöyry Oyj. 2015. Pöyryn historia. Luettu 21.4.2015.
<http://www.poyry.com/fi/poyry/poyry-lyhyesti/poyryn-historia>

Pöyry Oyj. 2015. Tilinpäätös 2014. Luettu 23.4.2015.
http://www.poyry.com/sites/default/files/financial_reports/poyry_fs_2014_fi.pdf

Pöyry Oyj. 2013. Pöyry Paikallispalvelut. Luettu 24.4.2015.
<http://www.poyry.fi/toimialat-palvelut/metsateollisuus/selluteknologia/paikallispalvelut>

Pöyry Oyj. 2013. Pöyry Suomessa. Luettu 30.4.2015.
<http://www.poyry.fi/yhteystiedot/poyry-suomessa>

Pöyry Oyj. 2013. Toimialat & palvelut. Luettu 24.4.2015.
<http://www.poyry.fi/toimialat-palvelut>

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista. 2012/856.

LIITTEET

Liite 1. Otos kahdesta eri laatusesta laserkeilatusta 3D-mallista

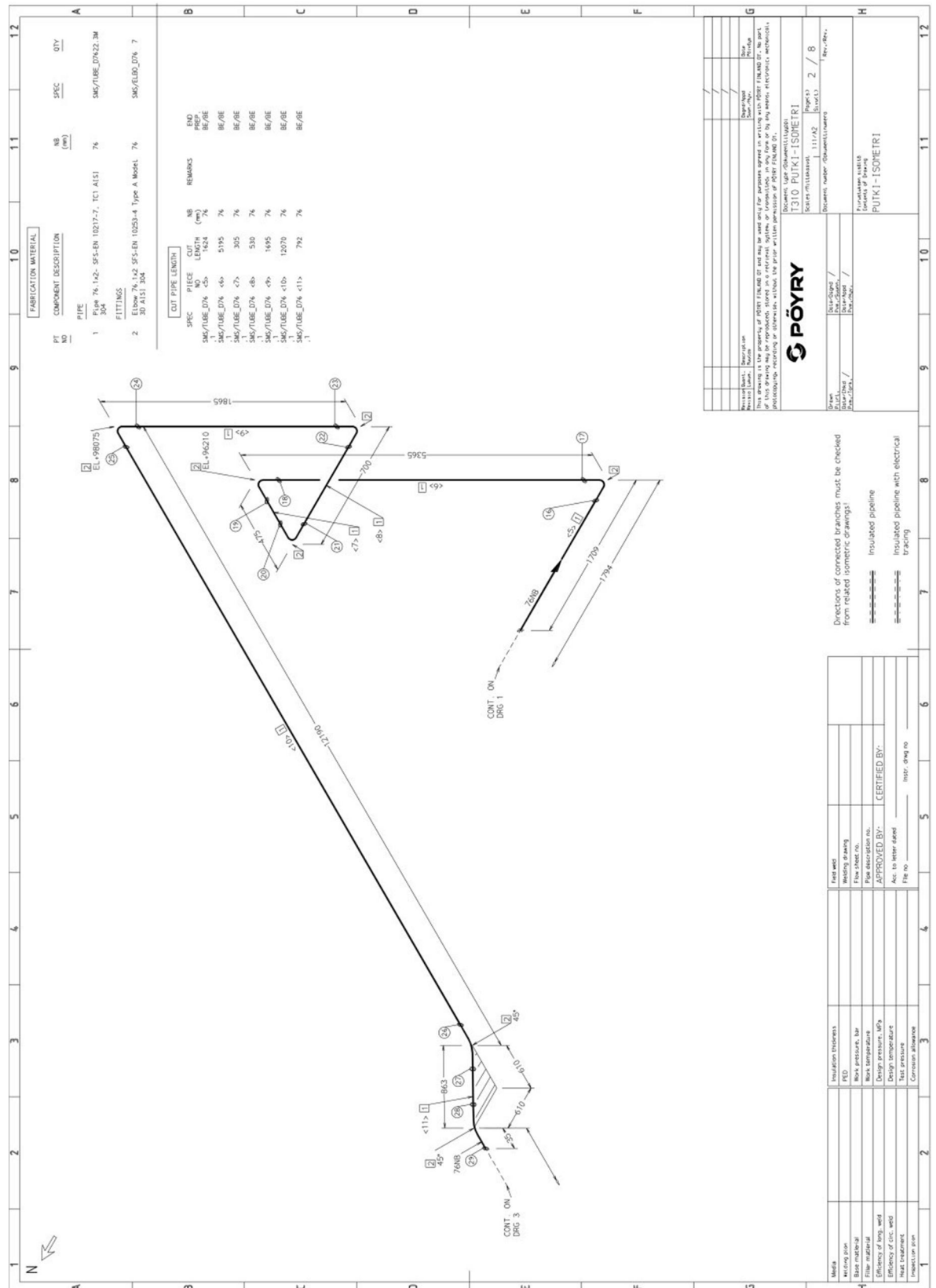


Pintaverkkomalli. (Pöyry Finland Oy.)



Pistepilvimalli. (Pöyry Finland Oy.)

Liite 2. Putki-isometri. (Pöyry Finland Oy.)



Liite 3. Eri laskentatapoja teoreettiselle suunnitteluajalle

Teoreettisen suunnitteluajan laskenta:				Putkiston pituuden mukaan			
Projekti	L (m)	N (kpl)	$t_{\text{teor}} = L$ (h)	t_{tod} (h)	P_{suht}	P_{suht}	Tehokkuusjärjestys
1	68	245	68	180	0,38	44 %	3
2	233	55	233	650	0,36	42 %	4
3	110	300	110	390	0,28	33 %	5
4	180	220	180	210	0,86	100 %	1
5	170	355	170	430	0,40	46 %	2
Teoreettisen suunnitteluajan laskenta:				Putkiosien määrän mukaan			
Projekti	L (m)	N (kpl)	$t_{\text{teor}} = N$ (h)	t_{tod} (h)	P_{suht}	P_{suht}	Tehokkuusjärjestys
1	68	245	245	180	1,36	100 %	1
2	233	55	55	650	0,08	6 %	5
3	110	300	300	390	0,77	57 %	4
4	180	220	220	210	1,05	77 %	2
5	170	355	355	430	0,83	61 %	3
Teoreettisen suunnitteluajan laskenta:				Pituuden ja putkiosien määrän mukaan suhteessa 1:1			
Projekti	L (m)	N (kpl)	$t_{\text{teor}} = 0,5L + 0,5N$ (h)	t_{tod} (h)	P_{suht}	P_{suht}	Tehokkuusjärjestys
1	68	245	157	180	0,87	91 %	2
2	233	55	144	650	0,22	23 %	5
3	110	300	205	390	0,53	55 %	4
4	180	220	200	210	0,95	100 %	1
5	170	355	263	430	0,61	64 %	3
Teoreettisen suunnitteluajan laskenta:				Pituuden ja putkiosien määrän mukaan suhteessa 2:1			
Projekti	L (m)	N (kpl)	$t_{\text{teor}} = 1L + 0,5N$ (h)	t_{tod} (h)	P_{suht}	P_{suht}	Tehokkuusjärjestys
1	68	245	191	180	1,06	77 %	2
2	233	55	261	650	0,40	29 %	5
3	110	300	260	390	0,67	48 %	4
4	180	220	290	210	1,38	100 %	1
5	170	355	348	430	0,81	59 %	3
Teoreettisen suunnitteluajan laskenta:				Pituuden ja putkiosien määrän mukaan suhteessa 1:2			
Projekti	L (m)	N (kpl)	$t_{\text{teor}} = 0,5L + 1N$ (h)	t_{tod} (h)	P_{suht}	P_{suht}	Tehokkuusjärjestys
1	68	245	279	180	1,55	100 %	1
2	233	55	172	650	0,26	17 %	5
3	110	300	355	390	0,91	59 %	4
4	180	220	310	210	1,48	95 %	2
5	170	355	440	430	1,02	66 %	3

Liite 4. Suunnittelumenetelmän valintakuva

